

# ЖИЗНЬ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ ИДЕЙ

НА ПРОТЯЖЕНИИ ВЕКОВ  
МНОГИЕ ВЫДАЮЩИЕСЯ  
ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕ-  
НИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА СО-  
ПРОВОЖДАЛИСЬ АВАРИЯ-  
МИ И КАТАСТРОФАМИ.  
ОДНАКО, ЭТИ МРАЧНЫЕ  
И ЧАСТО НЕИЗБЕЖНЫЕ  
СОБЫТИЯ НЕ СМОГЛИ  
ЗАПУГАТЬ ЛЮДЕЙ, ЗА-  
СТАВИТЬ ИХ ОТКАЗАТЬ-  
СЯ ОТ ВЫПОЛНЕНИЯ  
ВСЕ БОЛЕЕ ДЕРЗОВЕН-  
НЫХ ЗАДАЧ. НОВЫЕ ЗНА-  
НИЯ, НОВЫЕ МЫСЛИ ПРИ-  
ДАВАЛИ НОВЫЕ СИЛЫ.  
СЕГОДНЯ ЧЕЛОВЕК МО-  
ГУЩЕСТВЕННЕЕ, ЧЕМ  
КОГДА БЫ ТО НИ БЫЛО."

В. КАРЦЕВ  
П. ХАЗАНОВСКИЙ

# СТИХИЯМ НЕ ПОД- ВЛАСТЕН



**ЖИЗНЬ  
ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ  
ИДЕЙ**



В. КАРЦЕВ  
П. ХАЗАНОВСКИЙ

# СТИХИЯМ НЕ ПОДВЛАСТЕН

*пять тетрадей,  
содержащих  
новеллы и рассуждения  
о том, как человек  
добивался победы  
над стихиями  
и катастрофами,  
как учился он  
предсказывать будущее,  
как пришел он  
к науке о надежности*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»  
МОСКВА 1975

**603**  
**К29**

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В твоих руках, читатель, книга о новой и древней науке — науке о надежности.

Это новая наука, всего лишь несколько десятков лет назад было введено техническое понятие «надежность». Оно было закреплено соответствующим ГОСТом — Советским государственным стандартом.

ГОСТ 13377-75 дает для «надежности» следующее определение:

«Свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам...»

В ГОСТе приведена и масса других определений: «отказ», «работоспособность», «безотказность», «ремонтпригодность». Утверждаемые ГОСТом термины не позволяют произвольного толкования, приводят к тому, что специалисты, употребляя все эти широко распространенные слова, имеют в виду одно и то же.

Жесткая стандартизация, конкретизация понятий надежности дают возможность заранее рассчитывать появление в заданном устройстве «отказа», аварии. Эти расчеты, базирующиеся на применении теории вероятностей, составляют предмет исканий современной теории надежности.

С другой стороны, наука о надежности существует уже много веков. Спасаясь от стихий, обеспечивая себе хотя бы минимальный комфорт, наш далекий предок создавал все более совершенные и сложные вещи, защищающие и умиротворяющие его. Иной раз они оказывались жестоки, эти вещи, губили своего творца и созданные им ценности. Обваливались постройки, рушились мосты и плотины, тонули корабли. Прогресс техники всегда сопровождала мрачная тень аварий и катастроф.

Об этих печальных событиях всегда говорят с понятным сожалением, и все же в каком-то смысле они принесли человечеству неограниченную пользу. Постигая причину отказа созданных им вещей, человек научался многому из того, что не знал раньше. Непокорность природы вынуждала человека еще с древнейших времен заботиться о надежности его творений, заставляла заглядывать в будущее, оттачивала на печальных примерах способность предсказывать, мыслить.

Вряд ли мы в полной мере отдаем себе отчет о масштабах происходящей сейчас в мире научно-технической революции. Человек, оказалось, необыкновенно быстро привыкает к новому. В юности он восхищенно провожал глазами небольшой винтовой самолет, сегодня же считает вполне обычным, что люди и автоматы посещают планеты Солнечной системы. Мир изменяется прямо на наших глазах с невиданной во времена прошлых научно-технических революций быстротой. Причиной этого явилось, возможно, и то, что наука, в ранние времена презираемая или возносимая на божественные недоступные высоты, сама наука стала непосредственной производительной силой общества.

Ни в одной отрасли народного хозяйства так быстро не окупается затраченный рубль, как в науке. Каждый научный работник нашей страны приносит в год в среднем 50 тысяч рублей в виде экономического эффекта от внедрения в практику результатов его исследований.

В нашей стране научная революция удивительно гармонически сочетается с революцией социальной. Союз этот несет великие преимущества и в смысле возможностей четкого планирования научных изысканий для всей страны и стран социалистического сотрудничества, и в плане координации хода научных исследований с задачами социалистического производства. Отсутствие жестокой конкуренции начисто устраняет одну из наиболее частых причин технических катастроф в капиталистическом мире — погоню за наживой, несоблюдение во имя высоких прибылей элементарной техники безопасности, снижение запасов прочности до недопустимо низких значений.

...Великие мыслители прошлого заложили фундамент наших знаний о свойствах вещей — тех, которые составляют сейчас основу науки о надежности.

Новые знания, новые мысли придавали человеку новые силы. Он высоко поднимался, опираясь на эти трудно доставшиеся ему крылья. И всегда достигал такой высоты, которая была еще не подвластна его уровню знаний. Опаленные крылья Икара видятся в рухнувших этажах зданий и искореженных фермах снесенных мостов...



Трудно давались человечеству новые главы научных трудов по прочности материалов, по рациональным конструкциям, эффективной технологии, правильной эксплуатации. Трудно давалась человеку наука о надежности.

Но нет предела дерзанию человека — его творения достигают необычайно удаленных миров, он живет в стоэтажных зданиях, летает на сверхзвуковых самолетах, немислимо быстро несется по земле на автомобилях и скоростных поездах, пересекает водные пространства по мостам, простирающимся на десятки километров.

Техника сегодняшнего дня, порождение научно-технической революции, в корне отлична от всего того, что было известно человечеству раньше. Она включает в себя чудовищное число сложнейших элементов, каждый из которых способен отказать, сломаться, и это может привести к гибели людей и созданных ими сложнейших и дорогостоящих устройств.

Не пора ли остановиться в этой технической гонке?

Не придет ли человек, наконец, к созданию таких вещей, которые сгубят и его самого, и то, что создал он за свою долгую историю?

Нет, нет, не будет этого!

Не остановить колеса истории, не повернуть вспять несущуюся вперед технику. Вновь и вновь зажгутся в предутренних городах окна кабинетов ученых. В светлых залах конструкторских бюро, в уютных закутках лабораторий инженеры смело возьмутся за новые задачи, еще более дерзновенные. Они смелы, ибо владеют тем, что дала им тысячелетняя история науки и техники, — наукой о надежности.



Авторы книги считают приятным долгом выразить свою благодарность рецензентам рукописи: заместителю председателя межотраслевого научно-технического совета по проблеме надежности инженеру Я. М. Сорину, профессорам О. Д. Гольдбергу, М. С. Слуцкому и Э. К. Стрельбицкому, сделавшим по рукописи ряд ценных замечаний, способствовавших улучшению качества книги.





## ДОЛГИЙ ПУТЬ ПОЗНАНИЯ

Одна из самых величайших задач науки — это ее возможность предсказывать и предвидеть.

*Академик А. Е. Ферман*

*Вся история материальной культуры человечества — это и история создания все более и более надежных, прочных вещей, жилищ, мостов, дорог, повозок, кораблей. Лишь интуиция и опыт были поводырями древних инженеров. Не зная пользы наук, идя путем «натурного эксперимента», они оказывались слепцами в полном опасностей мире. Тонули галионы, рушились зиккураты, ломались боевые колесницы. Но этот печальный опыт был не напрасен — человек постепенно начинает понимать природу вещей, начинает задумываться об их будущем, начинает постигать и ценить науку.*

## ДОЛГИЙ ПУТЬ ПОЗНАНИЯ

Лишь в самые последние годы слово «надежность» приобрело столь сложное научное содержание, что понадобилось точное его истолкование и, более того, закрепление соответствующими стандартами. По выражению академика А. И. Берга, надежность превратилась сегодня в «проблему номер один современной техники».

Военные архивы напоминают о том, что во время корейской войны радиолокационные станции США могли работать только 16% времени — остальное время они ремонтировались. Что же говорить тогда о современных, куда более сложных устройствах, порожденных научно-технической революцией? Электронно-вычислительные машины третьего и четвертого поколений несравненно сложнее машин 50—60-х годов, у них в тысячи раз больше рабочих элементов. Если перед второй мировой войной радиоэлектронное оборудование самолета-истребителя США стоило 3—5 тысяч долларов и содержало всего 40 электронных ламп, то сейчас такое оборудование стоит свыше миллиона долларов и содержит тысячи активных элементов. То же происходит и в других областях техники: последствия отказа одного, самого, казалось бы, пустякового элемента оказываются порой исключительно серьезными, даже катастрофическими.

Мы сейчас так много и сложно говорим о надежности, что может закрасться мысль: сегодняшняя «надежность» скрывает совершенно новый, необычный,

высокий и непонятный научный смысл и не имеет уже ничего общего с хорошо известным, понятным добрым старым словом.

Посмотрим, однако, как определяется слово «надежность» в самой современной научной литературе:

«Надежность — это свойство изделия, обусловленное его безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью и обеспечивающее нормальное выполнение изделием заданных функций».

Что же, наши отцы и деды, наши более далекие пращуры были безразличны к этому свойству вещей, производимых ими? Неужели им было все равно, стоит или разваливается дом, где они живут, провалится ли мост, по которому они проезжают?

Вопросы эти имеют явно риторический характер. Вся история материальной культуры человечества — это история борьбы за создание все более и более надежных вещей. С тех пор, как человек стал создавать орудия труда и предметы обихода, он неустанно заботился об их безотказности. Если бы владельцу каменного топора было безразлично то, что это оружие так хрупко и легко дробится при ударе, стал ли бы он думать о замене материала? Не является ли непрерывная борьба за качество изделий одной из движущих пружинок технического прогресса?

Нашим далеким предкам совсем не чужды были заботы о надежности и качестве вещей, которые их окружали.

Четыре тысячи лет назад в Древнем Вавилоне существовал закон, который гласил:

«— Если построенный архитектором дом развалится и при этом погибнет его владелец, архитектор подлежит смертной казни.

— Если при этом погибнет сын владельца дома, смертной казни подлежит сын архитектора.

— Если погибнет раб владельца дома, архитектор обязан возместить владельцу потерю».

Но, видимо, обеспечить качество построек при тогдашних материалах было сложно. Утверждают, что прототип Вавилонской башни существовал в действительности. Если это так, то крушение Вавилонской башни — первое зарегистрированное в исторических хрониках печальное свидетельство о катастрофе, вызванной дерзостью человека. Человек стремился вверх,

к солнцу, но не имел для этого ни сил, ни материалов, ни знаний. В пыльных обломках глиняной Вавилонской башни были еще раз погребены надежды древних на быструю победу над природой. Для того чтобы осуществить мечту — строить легкие, вонзающиеся в небо невесомые дома, прекрасные и безопасные для жизни, дома высокого качества и полностью надежные, — человечеству суждено было пройти еще длинный путь. Путь к современной надежной технике был тяжел и вымощен жертвами. Этот путь прокладывали гении, чьи имена мы славим, и безвестные строители-рабочие.

Путь этот неминуемо приводил к современной нам технике. И тут, буквально несколько лет назад, обнаружилось, что всего сделанного человечеством для повышения надежности — мало, хотя без этого, достигнутого, невозможно двигаться дальше. Научно-техническая революция, современниками которой мы являемся, привела к устройствам столь сложным, что традиционный подход к проблеме надежности стал узок и недостаточен. Понадобился свежий взгляд, понадобились новые идеи, всякий раз врастающие корнями в почву, подготовленную старыми мудрецами.

## SINE ARTIFICIO SCIENS AUT IGNARUS ARTIFEX <sup>1</sup>

Антропологи, историки, искусствоведы, скульпторы, воссоздающие облик древнего человека, восстанавливают для нас образ нашего предка, жившего несколько тысяч лет назад. И воскресает он из глубин седых веков красивым и смелым, совсем не беспомощным перед силами коварной природы. Это отнюдь не беззащитное существо, прячущееся от холода в шкуры и не властное над окружающим миром. Далекий предок мог бы продемонстрировать нам строения из обожженного кирпича, колесные повозки, красочную керамическую кухонную утварь. Он знаком с выплавкой металлов, пересекает моря и озера на судах, снабженных парусами и веслами, он пользуется плугом, весами, уровнем, отвесом, угломером, циркулем, клещами, напильником, ножницами, пилой, рубанком, коловоротом.

---

<sup>1</sup> Знают, но не творят, или творят, но не знают (лат.). — Джованни Баттиста Порта. Натуральная магия, 1558.

Он создает грандиозные сооружения, до сих пор восхищающие своими масштабами и прочностью. Египетские пирамиды, сфинксы, скульптуры-колоссы, греческие храмы, римские общественные здания и акведуки выстояли в долгом противоборстве с силами стихий и до сих пор рождают в современных паломниках чувство сопричастности к вечной истории человечества, возвышающее сознание преемственности. Строители древности обладали громадной интуицией, богатым опытом и высоким профессиональным мастерством.

Не зная теории, древние предугадывали многие прогрессивные технические решения, осмысленные лишь через много веков.

Пролет балок Парфенона не превышал 2,5 метра. Когда архитектор Мнесикл приступил в 437 году до нашей эры к строительству пропилеев Акрополя, ему потребовалось перекрыть мраморными балками пролеты до 6 метров. Мнесикл замуровал в мрамор в специальных канавках железные стержни, создав «армированный мрамор». Это было большое достижение. Но историки науки доказали, что уже в Древнем Вавилоне использовали тростник для армирования построек из сухой глины. А неизвестные греческие колонисты на Сицилии еще раньше применяли армирующие железные элементы, повышающие прочность конструкции.

Почему же если рассматривать величественные сооружения древних с современных технических позиций, то поражают они своим пренебрежением элементарными основами строительной науки? То, что сохранилось до сих пор, сохранилось лишь благодаря немислимым запасам прочности, потребовавшим колоссальных перерасходов человеческого труда и материалов.

Пленяющие воображение полуокружные арки римских акведуков, оказывается, являются свидетельством не столько изощренности эстетического вкуса, сколько технической наивности. Древние строители не знали, как выбрать рациональные с точки зрения сопротивления материалов очертания арок и выбирали наиболее простые — полуокружные. Опыт подсказывал им прочность небольших пролетов, и они делали их минимальными...

Выходит, у нашего предка, у этого искушенного во многом великана, не хватало чего-то такого, что помо-



гало бы, опираясь на опыт и обобщение его, предсказать будущее, угадывать, решать — что нужно строить и как? К сожалению, приходится признать, что древнему строителю недоставало одного очень мощного оружия — науки. Обладай он ее основами, хватило бы четырех действий арифметики для того, чтобы предсказать, выдержит ли это бревно, эта балка приложенную нагрузку, чтобы твердо указать, какого диаметра свод можно вознести на этих колоннах, а какого — нет. Но и простейших научных теорий не знали древние строители. Интуиция и опыт — вот их поводыри в полном опасностей мире. История не сохранила свидетельств о неудачах, на которых учились древние строители, — о крушениях сооружений, падении башен, провалах мостов. Наверняка их было множество. Лишь одно глухое свидетельство донеслось до нас сквозь толщи веков — рассказ о крушении Вавилонской башни. Одна лишь неудача среди множества достижений — шедевров архитектуры прошлых эпох...

Археологические раскопки зиккурата Этеменанки в Древнем Вавилоне, сооружения, которое, как полагают некоторые исследователи, послужило прототипом библейской Вавилонской башни, показывают следующее. Зиккурат имел большие размеры (исчисляемые многими десятками метров как по длине и ширине, так и по высоте) и был построен из сырцового кирпича, лишь облицованного камнем. Естественно, что столь грандиозное сооружение из сырцового кирпича не могло долго выстоять и должно было рано или поздно разрушиться под действием дождей, ветров, собственной тяжести. Знание свойств строительного материала, возможно, предотвратило бы катастрофу.

Долгое время техника шла своим путем, путем суровых уроков, жертв и ошибок. Ее накопленный эмпирический опыт был подчас жесток и иррационален. В Древнем Вавилоне, например, при изготовлении стекла использовались человеческие эмбрионы. Японцы закаливали свои мечи, погружая их в тела пленных. В основания мостов и зданий замуровывали прекрасных девушек, и лишь со времен Древнего Рима их стали заменять чучелами...

Ремесленники и строители полагались во всем на традиции, инстинкт и опыт. Иногда им удавалось создавать великие творения, восхищающие мир до сих

пор. Но несмотря на великолепное мастерство ремесленников, инженерное решение их изделий в большинстве случаев было не лучшим, а иногда и фантастически плохим. Не хватало смекалки укрепить как следует колесо у повозки — и колеса слетали на каждом шагу. Не было понимания природы напряжений в конструкциях судов, и неуклюжие морские мастодонты тонули, наглотавшись воды через бесконечные течи. Редкий ныряльщик, исследующий сегодня дно вблизи берегов Средиземного и Черного морей, не видел на дне обросшего ракушками древнего корабля.

Но неужели острый ум и память древних оставили без внимания закономерности, наблюдаемые в природе? Неужели не заметил никто, что кровавый закат сулит ветер, а приземленный полет птиц — дождь? Неужели никто не пошел дальше и не попытался объяснить, почему плавают лодка, почему рычаг поднимает большой груз, не попробовал вскрыть причины явлений? Человек неминуемо должен был прийти к некоторым обобщениям и тут уж нельзя было обойтись без абстрактных понятий: «длина», «вес», «отношение», «сила», «движение». Развитие производства и техники неизбежно должно было подготовить сознание человека к восприятию абстрактных понятий, операций с которыми составляют сущность науки.

С другой стороны, возникала и потребность в науке. Торговля нуждалась во введении четкой системы счисления. Разделы земель вызвали к жизни геометрию и математику. Уже тогда люди могли составлять и решать квадратные уравнения, знали об иррациональных числах. Мореплавание вызвало к жизни астрономию. Архитектура и строительство требовали развития строительной механики.

Труды Аристотеля составляют уже целую энциклопедию знаний, образуют костяк науки того времени. Ученик Платона Аристотель пошел дальше своего великого учителя. Он видит источник знаний не в сложных умозрительных построениях, не в формальной логике, а в наблюдении, в эксперименте. В его трактатах «Физика», «Проблемы», «Механика» разработано учение о движении. Брошенное тело, по Аристотелю, как парус корабля, подталкивается воздухом, стремящимся не допустить образования «пустоты» и занять место, освобожденное телом в пространстве. Этот тезис Арис-

тотеля потребовал для опровержения более полутора тысяч лет!

Несмотря на неправильные исходные предпосылки, Аристотель, неторопливо беседовавший со своими учениками за триста с лишним лет до нашей эры в священном саду Аполлона в Афинах, поведал им принцип действия весов, строительных блоков, рассказал об открытом им правиле равновесия рычага. Мысли философов, обратившихся к опыту и практике, обрели новую силу.

Афинская школа под руководством Аристотеля пала в 323 году до нашей эры со смертью Александра Македонского и разрушением созданной им империи. В Афинах у власти оказались противники Александра, и Аристотелю пришлось спасаться бегством. Он умер в Халкиде в возрасте 63 лет.

Роль научного центра древнего мира перешла к городу, основанному Македонским в дельте Нила — Александрии Египетской.

Здесь правитель, основатель египетской династии Птолемеев, Птолемей I Сотер, обладал ученика Аристотеля Деметрия Фалерского и поручил ему создать новый Ликей теперь уже в Александрии. Деметрий рьяно принялся за дело и прежде всего собрал все труды Аристотеля. Постепенно возник круг учеников.

Так образовалась другая известная научная школа — александрийский Музей. Постепенно Музей стал крупнейшим научным центром, две библиотеки которого насчитывали семьсот тысяч томов. Ученые, составлявшие Музей, жили вместе, за счет казны. Пользуясь обилием папируса, Музей издавал книги. Александрийский Музей был, возможно, первым примером организации коллективных научных исследований. Исключительные условия для развития наук привлекли в Александрию лучших ученых со всех краев земли. В течение всего античного периода александрийский Музей вносил наиболее весомую часть вклада в изучение естественных наук и в первую очередь механики, физики. Александрийскую школу отличало систематическое исследование конкретных вещей и явлений природы.

Примером ученого александрийских традиций был великий Архимед. Он учился в Александрии и всю жизнь сохранял с Музеем самые тесные отношения.

Архимед родился в 287 году до нашей эры в Сиракузах в семье известного астронома Фидия. Научные устремления Архимеда в полном соответствии с традициями Музея были направлены на исследование конкретных проблем, явлений. Так, Архимед построил мосты собственной конструкции, под его руководством были воздвигнуты дамбы для регулировки разливов Нила, он изобрел «винт Архимеда» для подъема воды.

Трудно сказать, кем бы сочли Архимеда по современной классификации, но, возможно, был он одним из первых инженеров. Конечно, и до Архимеда были инженеры. Еще раньше наряду с лекарями, священниками, учителями общество нуждалось в строителях домов, храмов, дорог, мостов, каналов, машин и т. п. Архимед отличался тем, что был ученым, применившим результаты своих научных изысканий в инженерной практике.

Архимед разработал основы статики и гидростатики. Условие равновесия рычага дано у него уже не в том смутном виде, что у Аристотеля, но в четкой математической интерпретации: «Соизмеримые величины уравниваются, если длины, на которых они подвешены, находятся в обратном отношении к тяжестим». Архимед разработал теорию центра тяжести и дал понятие о механическом моменте силы. Закон Архимеда, открытый им при столь широко известных обстоятельствах, лег в основу научного конструирования судов. Нельзя переоценить и введение Архимедом понятия «удельный вес».

Архимеда согласно легенде вопреки приказу военачальника Марцелла убил неизвестный солдат. Убийство произошло в тот момент, когда Архимед рисовал на песке свои геометрические фигуры. Человек, склонившийся над чертежом, — таким остался в памяти потомков великий инженер и ученый древности Архимед.

Рядом с Архимедом трудились и другие выдающиеся механики и изобретатели. Немного старше его был Ктезибий, изобретатель гидравлического органа, водяных часов, водяного пожарного насоса. Ученик Ктезибия Филон в своем трактате «Механика» описал множество интереснейших изобретений: хитроумные боевые машины, автоматический театр, кривые зеркала, «плюющиеся» сосуды, фонтаны с пьющими живот-

ными и поющими птицами, «карданов» подвес, устройство для подачи «святой» воды к храму.

Почти все эти изобретения полностью осмыслены, многие опираются на хорошее понимание Филоном научных теорий, он прекрасно знает принцип сифона, он осведомлен о том, что воздух при охлаждении сжимается, а при нагревании — расширяется. Научные знания явно способствовали практическим успехам Филона.

Но еще более известен, чем Ктезибий и Филон, Герон Александрийский, автор большого количества сохранившихся трактатов. В одном из них описан знаменитый «эолипил Герона», его паровая турбинка. Там же поражающий современников «фокус» — «автоматическое» открывание дверей храма при разжигании огня на жертвенном очаге.

В трудах Герона встречается описание прибора для измерения пройденного пути, или, как мы его теперь называем, таксометра. Многочисленные труды Герона — своеобразная энциклопедия техники двухтысячелетней давности. Там есть описание ворота, рычага, винта, зубчатой передачи, сифонов, клина, разнообразных подъемных и военных машин.

Таким образом, у греков эллинистического периода две тысячи лет назад были на первый взгляд все условия для того, чтобы создать, например, примитивный паровоз или паровую турбину и использовать силу пара в качестве источника энергии.

Они владели технологией получения разнообразных металлов, знали о движущей силе пара, знали о рычагах, о шестеренках, о колесах и простейших подшипниках.

Итак, зададим себе, казалось бы, умозрительный и абстрактный, а на самом деле практически интересный вопрос: могли ли александрийские ученые две с лишним тысячи лет назад построить паровоз? Могло ли увенчаться столь поразительным успехом форсирование научных исследований в Александрии, где была необычайно благоприятная обстановка для развития науки, обусловленная созданием Музея и щедрыми ассигнованиями на научные исследования? Ответ на вопрос ясен — он отрицателен и категоричен.

Некоторые причины очевидны. Например, зачем было работать над созданием парового двигателя в те

времена, когда вокруг было множество водяных колес и «живых двигателей» — рабов? Вторая объективная причина, выдвигаемая историками, — отсутствие в одном и том же месте железа и топлива.

Но есть и еще одна причина — неполное или неправильное понимание александрийцами сущности происходящих физических процессов. Так, Герон, по-видимому, отождествлял пар с воздухом. Из трубок эолипила, по мнению александрийских ученых, «дул ветер», и совсем не случайно это устройство получило название в честь бога ветра — Эола.

Итак, мы можем сделать практически важный вывод — развитие техники, коренные технические преобразования, достижения должны быть сначала подготовлены успехами науки, правильным пониманием происходящих физических процессов. Эмпирический путь к крупным техническим достижениям по мере усложнения техники начинает изживать себя, и это получает свое выражение в научном подходе, который обнаруживают при создании машин и механизмов александрийские механики.

Архимед, впервые применивший математические теории к разработке своих механических устройств, показал необходимость использования научных методов. Герон и другие математики последовали за ним."

Один из представителей Музея, математик Папп Александрийский, утверждал, что наука «должна обучать искусству бронзовщика, рабочего по железу, строительному и столярному искусству, а также живописи и всему тому, что касается ручного труда», и что тот, кто хорошо изучил теорию, «будет впоследствии лучшим изобретателем и конструктором в области механики».

Вознесенная на божественные философские высоты Платоном и Аристотелем наука оказывалась незаменимым спутником человека, создающего машины и сооружения, — инженера, конструктора, архитектора.

## ЭПОХА ТИТАНОВ

Великие александрийские ученые и инженеры надолго опередили свое время, но не властны они были над неумолимым ходом истории, которая вступала в

один из мрачайших своих периодов. Сначала — яркий и недолгий расцвет Рима. Римляне с восторгом восприняли достижения греческой науки, но лишь там, где речь шла о практических применениях. Это предшествовало великим шедеврам архитекторов и строителей Древнего Рима — городам, храмам, акведукам, амфитеатрам, от которых остались сейчас лишь поражающие воображение руины. Утилизаторский настрой римских архитекторов и ремесленников не способствовал развитию исследований. Научная продукция той поры — многочисленные энциклопедии и книги компилятивного характера, безусловно важные и полезные, но совсем не оригинальные. Знаменитый древнеримский зодчий Витрувий в своей десятикнижной «Архитетуре» сообщает о строительных приемах эпохи императора Августа, и они ничем не отличаются от тех, что уже были известны раньше. «Естественная история» Плиния и «О природе вещей» Лукреция Кара были последними капитальными произведениями, которые создала древняя наука, но и в них тщетно было бы пытаться найти новое зерно истины.

Нашествие варваров окончательно стерло в людской памяти следующих поколений великие научные достижения греков. Тьма средневековья, усугубляемая всеилием религии, заглушала редкие научные откровения, и тысячелетнее молчание науки было весьма многозначительным.

Но нельзя было остановить жизнь, затормозить производство и технику. Отказ от натуральных хозяйств, географические открытия, расцветающая торговля с дальними странами — все требовало увеличения производства товаров, немыслимого без развития техники. А это вело к разделению труда, к мануфактурам, новым машинам и двигателям. Человечество попрежнему накапливало необходимые ему знания многотрудным путем «натурного» эксперимента, эксперимента в процессе повседневной деятельности.

Удивительны достижения человеческого опыта! Память поколений связывает в цепи причин и следствий самое необычное, порой невероятное. Вот, например, как в книге «Схемы различных искусств» Теофила Пресбрайтера, жившего в XI веке, описывается приготовление материала для закалки металла: «...закалка железа ведется тем же путем, которым режутся стек-

ла и размягчаются камни. Возьми трехлетнего черного козла и держи его взаперти на привязи трое суток без корма. На четвертый день накорми его папоротником. После того как он два дня поест папоротник, помести его на очередную ночь в бочку с решетчатым дном. Под бочку поставь сосуд для сбора его мочи. Набрав за двое-трое суток достаточное количество жидкости, выпусти козла на волю, а в этой жидкости кали свой инструмент...»

Позднейшие исследования выявили действительные преимущества закалки металлов в мочеvine и аммиаке, и в современной практике азотирование производится именно таким образом. Закалка в биологических жидкостях имеет преимущества перед закалкой в воде — в этом случае более эффективен теплообмен, а на границе металла образуются твердые игловидные кристаллы нитрида железа, способствующие упрочению изделия.

В процессе накопления опыта человечество пришло к разработке многих важнейших технических устройств и технологических процессов.

Подъемные краны, ветряные мельницы, книгопечатание, ткацкие и иные станки, усовершенствованное пороховое оружие, новые большие корабли, переход к доменному процессу получения металла — все это ставило новые задачи перед наукой, и неизбежна была научная революция, сопровождающая революции политические и религиозные.

«Наука», которая пестовалась в монастырях и университетах, не могла удовлетворить общество. Как указывал Энгельс, средневековье, стерев с лица Земли древние цивилизации, заимствовало у них лишь христианство и несколько полуразрушенных городов, а интеллектуальная монополия досталась церкви. Лишь наиболее дальновидные умы видели ту роль, которую могла бы сыграть наука в жизни общества, в создании новых изобретений.

Склонный к «ереси» францисканский монах Роджер Бэкон, двадцать лет проведший в тюрьмах, писал в XIII веке, в полночь средневековья:

«Расскажу о дивных делах природы, в которых нет ничего волшебного. Мы увидим, что все могущество магии ниже этих дел и недостойно их. Можно сделать устройства, плывущие без гребцов, суда речные и мор-



ские, плывущие при управлении одним человеком скорее, чем если бы наполнены были людьми. Также могут быть сделаны колесницы без коней, движущиеся с необычайной скоростью... можно сделать летательные аппараты: человек, сидящий в середине аппарата, с помощью некоторой машины двигает крыльями наподобие птичьих... прозрачные тела могут быть так обработаны, что отдаленные предметы покажутся приближенными и на невероятном расстоянии будем читать мельчайшие буквы и различать малейшие вещи, а также будем в состоянии наблюдать звезды, как пожелаем».

Как удивительно это прозрение совпадает с тем, что будет темой для размышлений одного из титанов Возрождения — Леонардо да Винчи!

Научная революция прошла, наконец, благодатным ливнем в XVI—XVII веках. В те времена были созданы основы современной науки. Говоря о той эпохе, эпохе Возрождения, Энгельс писал:

«Это был величайший прогрессивный переворот из всех пережитых до того времени человечеством, эпоха, которая нуждалась в титанах и которая породила титанов по силе мысли, страсти и характеру, по многосторонности и учености».

Да, эта эпоха породила титанов — Колумба, Магеллана, Дежнева, Кромвеля, Разина, Коперника, Галилея, Кеплера, Фрэнсиса Бэкона, Спинозу, Декарта, Гюйгенса, Ньютона, Гильберта, Бойля, Гука, Рембрандта, Сервантеса, Веласкеса, Микеланджело, Рафаэля, Шекспира, Мольера, множество других.

Но может быть, никто так не воплотил в себе дух Возрождения, как художник и инженер Леонардо да Винчи.

— Мудрость — дочь опыта, — утверждал Леонардо, пристально изучая, внимательно исследуя окружающий мир, — опыт никогда не ошибается, ошибаются только суждения ваши, которые ждут от него вещей, не находящихся в его власти.

Леонардо да Винчи с гениальной прозорливостью видел большую роль «абстрактных» наук в развитии техники.

— Никакой достоверности нет в науках там, где нельзя применить одной из математических наук, и в том, что не имеет связи с математикой. Всякая прак-

тика должна быть воздвигнута на хорошей теории. Наука — полководец, а практика — солдаты,— учил Леонардо.

Леонардо да Винчи оправдывает пророчества Бэкона и набрасывает в своих записных книжках проекты самолетов с машущими крыльями, геликоптера, парашюта. Но возможности технического воплощения этих идей в то время столь же эфемерны, сколь эскизные рисунки Леонардо.

Зато ему удаются изобретения, для которых наступил час: цепные силовые передачи (типа велосипедной), станок для насечки напильников, многочисленные ткацкие машины, боевые машины, музыкальные инструменты.

Леонардо, по-видимому, нередко задумывался над тем, почему одни сооружения прочны и надежны, выстаивают века и не ломаются, не разрушаются, а другие в тех же условиях быстро приходят в негодность. Некоторые виды ненадежности, как ему было ясно, можно было устранить более продуманной конструкцией. Почему перегородка водяных шлюзов быстро приходит в негодность? Прежде всего потому, что она неплотна, и просачивающаяся вода размыкает основание и в конечном итоге срывает перегородку. Леонардо предложил заменить применявшуюся издавна перегородку совершенно иной, более совершенной. Новая перегородка состояла из системы двух двойных ворот, расположенных под углом. В ней давление воды не размыкало, а, наоборот, крепче прижимало створки друг к другу.

Леонардо видел и другой путь повышения надежности. В сооружениях и машинах следует применять лишь те элементы, относительно которых точно известно, что они выдержат приложенную к ним нагрузку. Но как это узнать заранее, когда мост еще не построен, храм не воздвигнут, станок не изготовлен?

Путь один — нужно строительные детали и материалы испытывать до того, как они будут использованы в конструкции, причем испытывать для тех нагрузок, которые можно было бы ожидать в устройстве.

Леонардо приходит к мысли о необходимости предварительного опробования материалов и деталей. Перед тем как использовать железную проволоку, Леонардо исследует ее на специальном приспособлении:

— Цель настоящего испытания — найти нагрузку, которую может выдержать железная проволока. Укрепив железную проволоку длиной два локтя на чем-либо так, чтобы она крепко держалась, затем подвесив на ней корзинку, ящик или что-либо подобное, через малое отверстие на дне воронки насыпать туда некоторое количество мелкого песка. Как только проволока лопнет, отверстие воронки закроется укрепленной на ней пружиной. Падая, корзина не опрокинется, так как она падает с небольшой высоты. Вес песка и место разрыва проволоки следует заметить. Испытание повторить несколько раз для контроля результатов. Затем испытывают проволоку вдвое меньшей длины, причем отмечается увеличение выдерживаемой ею нагрузки; далее подвергается испытанию проволока, составляющая по длине  $\frac{1}{4}$  первоначальной и т. д. При этом всякий раз отмечаются предельное сопротивление и место разрыва.

Леонардо да Винчи этим не ограничивается. Он исследует также сопротивление изгибу балок строительных конструкций. Испытанию подверглись балки двух типов: с заделанным в стену концом и балка, лежащая на двух опорах. Леонардо обнаружил, что у последних прочность возрастает обратно пропорционально длине и прямо пропорционально ширине. Относительно первых вывод Леонардо таков:

— Если балка в два локтя длиной выдерживает 100 фунтов, то балка длиной в один локоть будет выдерживать 200 фунтов. Во сколько короткая балка меньше более длинной, во столько же раз больший груз она способна выдержать в сравнении с этой более длинной.

Леонардо не оставил без внимания и прочность колонн зданий, указав, что их несущая способность обратно пропорциональна длине, но прямо пропорциональна площади поперечного сечения.

Этими советами Леонардо, несомненно, пользовались строители, работавшие под его руководством. Можно себе представить восторг и восхищение, с которыми воспринимались слова человека, способного заранее предсказать, насколько надежным будет тот или иной элемент конструкции. Известно, что некоторые современники считали Леонардо волшебником, другие — сумасшедшим.

Леонардо да Винчи первым использовал достижения науки — статике — для определения сил, действующих на элементы строительных конструкций. Он, кроме того, внес этими исследованиями ценный идейный вклад в науку, которая тогда не имела и названия, — науку о надежности.

К несчастью, научные открытия Леонардо оставались в течение многих сотен лет погребенными в его записных книжках, книжках несистематических, путанных, написанных справа налево плохо разбираемым почерком. Инженеры последующих веков, как и прежде, в римскую эпоху, определяли необходимые размеры элементов своих сооружений на глазок, сообразно опыту и интуиции. Во всяком случае аварии сооружений продолжали оставаться неизбежными спутниками инженерной практики Возрождения в столь же полной мере, что и в рабовладельческие времена, и инженерам волей-неволей приходилось учиться на горьком опыте, не подозревая о том, что наука могла бы этот опыт сократить.

Исподволь нарождающееся в глубинах практики сознание необходимости науки дополнялось со своей стороны коренными изменениями в самой науке, в ее методе. Практика и наука неуклонно сближались.

Новый «индуктивный» метод в науке, настаивающий на поисках правды не в дедукции, не в силлогизмах и формальной логике, но в самих вещах, в эксперименте, был впервые применен придворным врачом английской королевы Елизаветы Вильямом Гильбертом. В своей книге «О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле», вышедшей в 1600 году, он описал более 600 специально поставленных экспериментов над магнитными телами, которые привели его к чрезвычайно важному и неожиданному для современников выводу о том, что Земля представляет собой гигантский сферический магнит. Этот вывод Гильберт сделал на основании того, что «магнитное поведение» «терры» (Земли) было в некоторых отношениях полностью тождественно «магнитному поведению» небольшой намагниченной железной сферы — «тереллы» («землицы»). Нужна была большая научная смелость для того, чтобы перекинуть мост логической необходимой связи между двумя явлениями столь разного масштаба.

Многих потрясли выводы Гильберта, и даже Галилей сказал, что они «достойны удивления». Прозорливый Галилей оценил роль Гильберта в развитии экспериментального научного метода<sup>1</sup>. Но Галилей пошел дальше — он обратил этот метод на задачи, вытекающие из практики, на технические задачи.

## ПОСЛЕДНЯЯ КНИГА ГАЛИЛЕЯ

Незадолго до смерти Галилео Галилея фирма Эльзевиров в Лейдене напечатала его последнюю книгу «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящиеся к механике и местному движению». Как было указано на обложке, труд этот принадлежал перу «синьора Галилео Галилея, рысьеглазого, экстраординарного философа и математика мудрейшего великого герцога Тосканского». Обращение к фауне в титуле ученого означало, что он состоял членом «Академии рысьеглазых», «Академии Линчеи» — высшего научного учреждения Италии, и, следовательно, Галилей, как рысь, которой приписывалось необыкновенно острое зрение, способен видеть то, чего не видят другие.

И действительно, Галилей увидел многое из того, что недоступно было другим. Направив на небо телескоп, Галилей обнаружил земное, отнюдь не божественное строение Луны, «уши» Сатурна, спутники Юпитера, неизвестные звезды Млечного Пути. Все укрепляло его в правильности коперниковой теории, и он стал ее ревностным проповедником. Эта сторона жизни Галилея достаточно широко известна, и нам нет смысла на ней здесь останавливаться. Однако то, что произошло после суда инквизиции и формального отречения Галилея от своего «еретического» учения, имеет к теме нашей книги уже непосредственное отношение. Вынужденный уединиться в Арчетри, близ Флоренции, Галилей решил написать давно им задуманные книги по физике,

---

<sup>1</sup> Иногда изобретателем нового метода в науке называют английского философа Фрэнсиса Бэкона. Нужно, однако, отметить, что книга «Новый Органон» Бэкона вышла через 20 лет после труда Гильберта. Кроме того, Фрэнсис Бэкон разработал свой метод чисто теоретически, и никто из физиков и техников ему никогда не следовал.

математике и механике. «Рысьеглазый» Галилей нашел и здесь нечто такое, что вполне может сравниться с по важности с его астрономическими находками.

И раньше дальновидные ученые познали ценность опыта, экспериментов, но эксперимент тот был пассивен, созерцателен и эмпиричен по своей сути или же направлен на сугубо научные цели. Галилей ставит вопрос о новом, тщательно продуманном, спланированном по системе научном эксперименте, когда явление изучается в «чистом» виде, когда оно очищено от сопутствующих влияний и поддается математической обработке. Галилей убежден в том, что книга природы написана «...на языке математики, ее буквами служат треугольники, окружности и другие геометрические фигуры, без помощи которых человеку невозможно понять ее речь; без них — напрасное блуждание в темном лабиринте».

Как Галилей следовал этому методу, мы попытаемся рассмотреть на примере изучения им прочности и надежности сооружений.

Галилей начинает с рассуждений о том, почему тонут большие суда, почему рушатся гигантские здания. Он пишет:

«Небольшие обелиски, колонна или иная строительная деталь могут быть установлены без всякой опасности обрушения, между тем, как весьма крупные элементы этого типа распадаются на части из-за малейших причин, а то и просто под действием собственного веса».

Исследуя это, как всем тогда казалось, загадочное явление, Галилей решает поставить ряд простых, но продуманных экспериментов. Сначала — опыты по растяжению тел. Когда тело разрывается, при какой растягивающей силе? Случайна ли эта сила или ее можно однозначно определить и рассчитать? С помощью простого устройства Галилей устанавливает, что прочность бруса, или «абсолютное сопротивление разрыву», пропорциональна площади его поперечного сечения и не зависит от длины бруса. Затем Галилей переходит к исследованию того же бруса, замурованного одним концом в стену и нагружаемого на другом конце. Он замечает разницу между поведением бруса в случаях, когда сила приложена в направлении его ширины и когда — в направлении толщины.

Почему и во сколько раз брус, или лучше призма, ширина которой больше толщины, окажет большее сопротивление излому, когда сила приложена в направлении ее ширины, чем в том случае, когда она действует в направлении толщины?

— Любая линейка, — отвечает он сам себе, — или призма, ширина которой больше толщины, окажет большее сопротивление излому, когда она поставлена на ребро, чем когда она лежит плашмя, и притом во столько раз большее, во сколько ширина больше толщины.

Следуя дальше и измеряя прочность геометрически подобных балок, нагруженных собственным весом, Галилей приходит к выводу о том, что изгибающий момент в сечении заделки пропорционален четвертой степени длины, а момент сопротивления — кубу. Галилей экспериментально и математически доказал, что геометрически подобные балки не равнопрочны, и из них прочнее та, что имеет меньшие размеры.

— Вы теперь ясно видите невозможность как для искусства, так и для природы увеличивать размеры своих произведений до чрезмерно огромных; равным образом невозможно и сооружение кораблей, дворцов и храмов колоссальных размеров, если мы хотим, чтобы их весла, реи, балки, скрепы, короче, все их части держались бы как одно целое; сама природа не производит деревьев необычайной величины, иначе ветви их поломались бы от собственной тяжести; невозможно было бы также создать и скелет человека, лошади или какого-нибудь другого животного так, чтобы он сопротивлялся и выполнял свои нормальные функции, если бы размеры этих живых существ были бы непомерно увеличены в высоту; такое увеличение в высоту могло бы оказаться осуществимым лишь в том случае, если бы для них был использован более твердый или прочный материал или если бы их кости были бы увеличены также и в ширину, от чего по форме и облику эти существа стали бы походить скорее на чудовищ... Если, напротив, размеры тела сократить, то прочность его хотя и уменьшится, но не в той же степени; и действительно, чем меньше тело, тем больше его относительная прочность. Так, например, маленькая собачка смогла бы, вероятно, унести на своей спине пару или даже три таких, как она, собачки, лошадь же, на-

до думать, не в силах была бы поднять и одной, себе подобной.

Подобные рассуждения и математические расчеты позволяли резко снизить вес конструкций, не снижая их надежности. Казалось бы, достаточно; но Галилей идет еще дальше. На основе своих умозаключений и экспериментов он дает рекомендации инженерам и строителям относительно исследованных им полых балок. Он указывает, что полые конструкции «находят разнообразнейшие применения в технике — а еще чаще в природе — в целях возможно большего увеличения прочности без возрастания в весе; примерами тому могут служить кости птиц и разного вида тростники: и те и другие отличаются большой легкостью и в то же время хорошо сопротивляются как изгибу, так и излому. Так, если бы пшеничный стебель, которым поддерживается превышающий его по весу колос, был бы сформирован из того же количества материала сплошным стержнем, то он смог бы оказать меньшее сопротивление изгибу и излому. Проверенный и подтвержденный практикой опыт указывает, что полые пики или трубы, будь то из дерева или из металла, всегда оказываются значительно более прочными, чем соответствующие сплошные стержни того же веса при данной длине...»

К тому же выводу Галилей пришел и математически. Он рассчитал и доказал опытом, что абсолютные сопротивления разрыву полого и сплошного стержней при равной площади сечения равны. Учитывая, что момент сопротивления изгибу равен, по его расчетам, абсолютному сопротивлению, помноженному на внешний радиус, он делает вывод о том, что прочность на изгиб у трубы будет во столько раз больше прочности сплошного стержня, во сколько раз внешний радиус трубы больше радиуса стержня.

Все эти выводы Галилея, его метод, его методики исследования материалов не были забыты, потеряны или упущены, а, напротив, были признаны и многократно повторены, проверены и уточнены тысячами исследователей. Поэтому именно Галилей может считаться первым инженером, написавшим труд по надежности конструкций, прочно вошедший в арсенал его наследников — ученых и инженеров.



## НА ПУТИ К ПОНИМАНИЮ

Возрождение вызвало к жизни неведомые ранее организации — научные академии. Начало этому движению было положено в Италии. В Неаполе еще в 1560 году была организована «Академия тайн природы». В Риме действовала «Академия Линчеи» — «Академия рысьеглазых». Во Флоренции семейство Медичи создало собственную «Академию Чименто» — Академию опыта. Ее украшением был ученик Галилея Торричелли.

С 1666 года приобрела официальный статус Французская академия наук; в 1724 году образована Российская академия наук.

В начале XVII века в Англии возник кружок ученых, регулярно собиравшихся для обсуждения научных проблем, не относящихся к религиозным или государственным делам. Как вспоминал один из участников этих встреч, ученые договорились между собой еженедельно встречаться где-нибудь в Лондоне в определенный час и день, внося при этом некоторый вступительный взнос и делая еженедельные сборы в погашение расходов по научным экспериментам: «Мы беседовали на этих заседаниях о циркуляции крови, о венозных клапанах, о гипотезе Коперника, о природе комет и новых звезд, о спутниках Юпитера, об овальной форме Сатурна, о пятнах на Солнце... об усовершенствовании телескопа, о взвешивании воздуха...» Этот «невидимый колледж» впоследствии был оформлен как Королевское общество. В него вошли Роберт Бойль, математик Уиллис, архитектор Кристофер Рен и многие другие.

К каждому заседанию куратор должен был готовить для демонстрации три-четыре крупных эксперимента. На должности куратора времен образования Королевского общества находился Роберт Гук, назначенный по рекомендации Бойля.

Гук был человеком весьма разносторонних интересов. Он занимался конструированием воздушного насоса, усовершенствовал микроскоп, предложил теорию света, подошел вплотную к открытию всемирного тяготения (одна из причин его натянутых отношений с Ньютоном), восстанавливал Лондон после большого лондонского пожара 1666 года. Но не эти исследова-

ния увековечили его имя в реестре человеческих достижений.

В 1678 году вышла книга «О восстанавливающей силе...», в которую вошли рассуждения Гука, возникшие под впечатлением его многочисленных бесед с известным часовщиком Томасом Тампионом. Здесь дана была, наконец, расшифровка той анаграммы, которую уже в течение трех лет пытались разгадать коллеги Гука по Королевскому обществу. Три года назад Гук опубликовал странную работу под названием: «Десяток изобретений, которые я намереваюсь опубликовать». Одним из десяти «изобретений» была «Истинная теория упругости и жесткости». Однако под заголовком было лишь несколько букв, которые можно было бы рассматривать только как заявку на приоритет в том случае, если бы за три года кто-нибудь пришел бы к тем же, что и Гук, выводам. Вот что было написано, вот какое странное слово стояло под заголовком «Истинной теории упругости и жесткости»:

ceiinossttuu

Но ненужной оказалась анаграмма, никто за три года не пришел к тем же, что и Гук, выводам, и он мог теперь раскрыть свою тайну. Расшифровка анаграммы дала следующий результат:

ut tensio sic uis,

то есть «каково удлинение, такова и сила».

Это как раз то, что вошло теперь в инженерную и строительную практику под названием «закон Гука». Гук был первым, кто понял, хотя в большой мере и интуитивно, что происходит при нагружении твердого тела. Оказалось, что и прогибающаяся под весом чело- века доска, и часовая пружина, и мраморные перекрытия Парфенона ведут себя одинаково — под действием силы обязательно меняют форму и размеры, причем это изменение размеров пропорционально приложенной нагрузке. При снятии нагрузки тело возвращается в исходную форму и размеры.

Гук первый понял, что «закон для всякого упругого тела состоит в том, что его сила или способность восстанавливать свое естественное состояние всегда пропорциональны той мере, на которую оно выведено из этого своего естественного состояния, совершено ли это путем его разрежения, отделения его частей одна

от другой или же путем сгущения и уплотнения этих частей... и наблюдать это можно во всех каких бы то ни было упругих телах, будь то металлы, дерево, каменные породы, кирпич, волос, рог, шелк, кости, мышцы, стекло и т. п... Исходя из этого принципа, легко можно будет вычислить силу луков, а также баллист и катапульт, находивших применение у древних... Легко будет вычислить и необходимое сопротивление пружины для часов...♦

Начав исследовать часовые пружины, — этого требовал век, нуждающийся уже в точных часах, — Гук пришел к более широким обобщениям и выводам. Прогобы, которых старались столь тщательно избегать инженеры прошлых веков, оказались не только допустимыми, но и просто необходимыми свойствами любых сооружений. Зная допустимый прогиб, можно было существенно облегчать, удешевлять конструкции, не снижая в то же время их надежности.

Выводы Галилея и Гука были многократно проверены и уточнены, в них учеными разных поколений был вложен более точный смысл.

Настоятель монастыря Сен-Мартенсубон Мариотт, войдя в состав новой Французской академии, пришел к выводу, что теория Галилея дает преувеличенные результаты для разрушающей нагрузки. Подряженный проектировать трубопроводы для Версальского дворца, Мариотт был вынужден перепроверить эксперименты Галилея, приняв во внимание упругую деформацию Гука.

Множество ученых внесли свой вклад в решение теории прочности сооружений и среди них Эйлер, петербургские Бернулли и другие, движимые сначала научной любознательностью, позже — требованиями военной и строительной техники. К началу XIX века все сравнительно простые задачи прочности сооружений были решены, жизнь выдвигала все более и более сложные, их подхватывали новые и новые теоретики.

Однако нет лучшего способа вызвать скуку, чем стремление рассказать обо всем, и мы ограничим себя тем, что констатируем: в распоряжении конструкторов и строителей XIX века были уже возможности теоретически решать простейшие проблемы, теоретически предсказывать поведение устройств в тех или иных условиях.

Но жизнь и загадки, выдвигаемые ею, сложны, и инженеры нового века, обманутые кажущейся мощью теоретической силы, находящейся в их распоряжении, по-прежнему часто ошибаются. Как и прежде, они часто вынуждены идти ощупью, и вежами, событиями, открывающими их глаза на неизученное, на необходимость учета при расчете все новых и новых факторов, по-прежнему были жестокие уроки опыта, натурального эксперимента.



## ЖЕСТОКИЕ, НО ПОЛЕЗНЫЕ УРОКИ

Нужно было пройти долгий путь, полный сомнений и катастроф (вроде случая с мостом через реку Тэй), чтобы инженеры убедились в пользе расчетов...

*Профессор Дж. Гордон*

*Инженеры и строители, едва освоившись с первыми методами расчетов, осмелели; их творчество, вдохновляемое теперь богатством уже освоенных математических методов, становится все более и более дерзким. И тут история начинает повторяться: новые аварии и катастрофы, еще более трагические, казалось, демонстрируют человеку пределы его ограниченного могущества; но все более искусными становятся и методы человека в борьбе за надежность; за каждой ошибкой следуют анализ, выводы, уверенность в том, что эта ошибка больше не повторится...*

## ШОТЛАНДСКАЯ ТРАГЕДИЯ

В малозаметном уголке лондонской «Таймс» за 29 декабря 1879 года было помещено следующее весьма заурядное сообщение:

«Данди, 29 декабря. Ураган большой силы. В ближайшие несколько дней движения поездов через реку Тэй на участке Сент-Эндрьюс — Данди не будет».

Если перевести это сообщение с языка британского официоза на язык более суровый и простой и разобраться в том, что эти строки скрывают, то картина, описанная в «Таймс», приобретает новые, весьма существенные подробности.

...В конце декабря 1879 года в окрестностях Тэйской бухты бушевал шторм. Холодный порывистый ветер, скорость которого достигла 40 метров в секунду, загнал всех, кто встречал поезд с юга, в малоуютное здание вокзала города Данди. Это было 28 декабря 1879 года.

Поезд с юга опаздывал. Как выяснилось позднее, выйдя из Сент-Эндрьюс, он в Данди уже никогда не попал.

Когда через много часов шторм стих и путевые обходчики подошли с обеих сторон к берегам Тэя, они увидели жуткую безмолвную картину: вместо красавца моста четырехкилометровой длины над присмирившими водами Тэйского устья поднимались лишь обезображенные сваи.

Поезд нашли водолазы. Он лежал на глубине 8 метров и был заперт в фермах моста, как в гигантской тесной клетке. На дне лежали тринадцать пролетов моста. Порывом ураганного ветра он был унесен в бушующие волны устья. Семьдесят четыре пассажира погибли в те рождественские дни в водах Тэйского эстуария, а движение поездов надолго прекратилось, что и было отмечено предельно объективной «Таймс».

Чтобы проанализировать причины этой жуткой катастрофы, стоившей человеческих жизней и принесшей колоссальный материальный ущерб, может быть, есть смысл сделать сначала небольшое географическое и историческое отступление. Если посмотреть на карту Великобритании, то сразу бросится в глаза, что некоторые реки — Тэй, Форс, Эмбер при впадении в море образуют так называемые эстуарии — широкие устья, далеко врезающиеся в сушу. Это настоящие морские заливы. Они создают очень серьезное препятствие для сообщения юга страны с Северной Шотландией: нужно либо пользоваться паромом для переправы, либо совершать многокилометровый объезд.

Идея построить вблизи города Данди железнодорожный мост через Тэйский эстуарий возникла у правления Северо-Британской железной дороги еще в середине прошлого века. Заручившись поддержкой ряда промышленников, поверивших в прибыльность задуманного предприятия, инициативная группа начала изыскательские работы. Было проведено разведочное бурение, которое обнаружило на одном из участков речного дна надежный грунт. Был составлен эскизный проект моста, оценена ориентировочная стоимость строительства — 150 000 фунтов стерлингов. Проект подлежал утверждению британским парламентом.

Дело с утверждением затянулось на 15 лет, но в 1870 году, после третьего чтения, правительственная концессия на строительство моста была получена. История подготовки к строительству закончилась, началось строительство.

К этому времени был уже готов рабочий проект моста. Получалось поистине грандиозное сооружение. Длина моста составляла 3600 метров. Форму он имел довольно причудливую — прямой в средней части, мост на южном и северном конце поворачивал на 90°. Поддерживался он более чем ста опорами такой высоты,



чтобы от поверхности воды до рельсов было расстояние 26,2 метра. Это расстояние должно было обеспечить движение судов под мостом. С той же целью фермы на 16 главных пролетах должны были располагаться сверху, поезд по ним шел как бы в туннеле с решатчатыми стенами. На остальной части моста поезд должен был идти поверху ферм.

В результате торгов подряд на строительство моста получила та самая фирма, которая проводила предварительные изыскания. Однако смета на строительство превысила первоначально намеченную сумму на 100 000 фунтов стерлингов. Таких денег у заказчика не было, вследствие чего пришлось срочно изыскивать пути к удешевлению работ. Один из соавторов проекта предложил вместо первоначально намеченных каменных устоев сделать составные: каменную часть поднять только на метр над поверхностью воды, а остальную часть опоры собрать из литых чугунных труб диаметром 0,38—0,46 метра. Этих труб должно было быть шесть под малыми фермами и восемь — под большими, где высота устоев на 6—7 метров больше. Колонны должны были состояться из 5—7 труб, которые скреплялись между собой поперечинами и раскосами. Эти поперечины и раскосы, которые вначале предполагалось делать из уголкового железа, а затем в целях экономии решили делать из полос, должны были крепиться к трубам болтами. Это упрощение конструкции устоев сулило большую экономию и было немедленно принято.

Строительство, начатое в 1870 году, продвигалось довольно успешно. Правда, сразу же обнаружилось, что качество многих труб неудовлетворительно, их приходилось возвращать изготовителю.

В 1876 году возникла еще одна неприятность, более крупного масштаба, поставившая под угрозу все строительство.

Когда начали возводить главные опоры и провели проверочный зондаж грунта, выяснилось, что никакой скалы под дном нет. При первом бурении за скалу был принят слой спекшейся гальки толщиной в несколько метров, а под этим слоем вплоть до большой глубины был песок-пльвун. Дело осложнялось тем, что виновной в этой ошибке была сама фирма — производитель работ. После этой неприятности она отказалась от

подряда, уплатила огромную неустойку и прекратила строительство. Пришлось обратиться к другой фирме, которая взялась внести необходимые изменения в проект и достроить мост. Окончание стройки откладывалось.

Первоначально расчетное давление опор на грунт было принято равным 6 килограммам на квадратный сантиметр. Такого давления окаменелый галечник выдержать не мог. Тогда решили увеличить площадь опор с тем, чтобы давление на грунт составляло 3,2 килограмма на квадратный сантиметр. Чтобы компенсировать удорожание опор, решено было уменьшить их число, сделав пролеты длиной не по 61 метру, а по 76, и, кроме того, делать их из шести труб вместо восьми.

В это же время выяснилось еще одно, может быть, главное, обстоятельство. В те времена еще не существовало точных способов учета ветровых нагрузок и нормы на ветровое давление брались что называется «с потолка». При расчетах Тэйского моста эти нормы были приняты равными 47 килограммам на квадратный метр. Уже в процессе строительства, в 1876 году выяснилось, что в других странах сооружения рассчитывают на ветровую нагрузку, в 3—5 раз превышающую эту цифру. Увеличение норм ветрового давления привело бы к необходимости очередного изменения проекта и еще большему удорожанию строительства. А акционеры и хозяева компании ни о каком удорожании и слышать не хотели! Удешевление, удешевление и только удешевление — вот что было их девизом. Кроме того, они требовали в любом случае окончить строительство к концу 1877 года.

Фирма, ведущая строительство, пошла на поводу у несведущих в технике акционеров. Конечно, ни о каком пересмотре норм ветрового давления и речи теперь быть не могло. Более того, инженеров, наблюдавших за строительством, иной раз и прямыми указаниями заставляли не обращать внимания на дефекты и брак: теперь они уже не «замечали» ни раковин в отлитых трубах, ни перекоса отверстий, ни даже того, что производители работ перестали крепить раскосы болтами, а перешли на простые клинья.

Мост был готов к концу 1877 года. По нему прошел первый поезд. В феврале 1878 года состоялся официальный осмотр моста. Наконец, 30 мая 1878 года

в присутствии высочайших особ мост был торжественно открыт и сдан в эксплуатацию. А еще через полтора года произошла страшная катастрофа.

Для расследования причин катастрофы была создана правительственная комиссия, которая работала в течение двух месяцев. Был произведен детальный осмотр рухнувшего сооружения. Результаты работы комиссии доказали, что при таком неправильном расчете и недобросовестном подходе к строительству катастрофа была практически неизбежной.

Действительно, опрос свидетелей показал, что уже в первые месяцы эксплуатации наблюдались какие-то шатания и колебания моста, причем настолько сильные, что маляры, занятые его окраской, стали привязывать банку с краской, иначе при проходе поезда ее могло бы сбросить в воду. Уже через четыре месяца после начала движения через мост некоторые раскосы ослабли, причем один из зрителей обнаружил более сотни таких ослабленных мест. На некоторых колоннах были замечены вертикальные трещины длиной до 2 метров.

Осмотр рухнувшей части моста показал, что трубы, из которых составлялись колонны, были отлиты из некачественного чугуна. Толщина стенок вместо 2,5 сантиметра была когда 3,6, а когда и 0,9 сантиметра. Часто попадались раковины, причем не заделанные, а просто покрашенные.

И наконец, ветровая нагрузка. При скорости ветра 40 метров в секунду она должна была составить около 190 килограммов на квадратный метр, то есть была в четыре раза выше расчетной. Опрокидывающий момент от этой нагрузки был, конечно, слишком велик для плохо спроектированного и построенного из недоброкачественных деталей моста.

Клубок причин, в который сплелись и техническое незнание, и неожиданно сильный даже для этих беспокойных мест ветер, и недобросовестность, и спешка, повлек за собой страшную трагедию.

На примере Тэйского моста инженеры-строители убедились в необходимости строжайше учитывать в расчетах то, чего раньше не замечали, то, к чему относились с прохладцей — к опрокидывающему моменту, вызываемому ветровой нагрузкой. К сожалению, это обстоятельство, с тех пор уже строго учитываемое,

было вовсе не единственной «мелочью», отражавшейся на надежности крупнейших инженерных сооружений прошлого века — мостов.

### «НЕВЕЗУЧИЙ» КВЕБЕКСКИЙ МОСТ

Мост, который должен был быть построен через реку Святого Лаврентия близ Квебека в Канаде, представлял собой весьма внушительное сооружение. По мосту общей длиной около километра должны были быть проложены два железнодорожных пути, два трамвайных, две шоссезные дороги и два тротуара. Средний пролет должен был быть длиной 544 метра. Высота фермы на быке — 96 метров. Общий вес моста, запроектированного как консольный, составлял около 40 тысяч тонн.

Правда, вначале средний пролет моста, самую нагруженную его часть, рассчитывали сделать длиной 488 метров, но тогда нужно было бы ставить еще одну опору, что при глубине реки 60 метров стоило бы очень дорого. Поэтому и решили длину среднего пролета увеличить на 56 метров.

Мост начали строить 22 июля 1905 года. Через два года была полностью готова южная часть моста и три панели подвесной фермы. Сборка моста производилась двумя кранами на весу. Оба крана — один весом 1100 тонн, другой — 250 тонн стояли на консоли. Образно говоря, мост представлял сейчас собой букву «Г» с короткой ножкой-быком и непомерно длинной полочкой, на конце которой стояли два крана, непрерывно удлиняющие консоль-полочку до тех пор, пока свободный конец полочки не коснулся бы другого берега.

Наступил август 1907 года. Строительный сезон подходил к концу, и подрядчики торопили рабочих: нужно было полностью использовать последние летние дни. Строительство, однако, задерживалось. В августе было замечено, что в некоторых ребрах панелей консольной фермы имеются выгибы. Об этом было сообщено техническому консультанту железнодорожной компании, которая вела строительство. Началась переписка по этому поводу между консультантом и подрядной фирмой, которая уверяла, что этот дефект про-

изошел из-за неправильной сборки и ничего страшного не происходит.

20 августа инспектор моста заметил такие же выгибы еще в трех ребрах уже с другой стороны фермы.

27 августа утром заметили, что выгибы фермы продолжали развиваться. Был вызван главный инженер квебекской фирмы. Он нашел положение серьезным, но не угрожающим. Никаких мер опять принято не было. Решили только известить консультанта и генерального подрядчика, причем чтобы скрыть тревожное положение от рабочих, сделали это не по телефону или телеграфу, а послали специального нарочного в Нью-Йорк.

Следующий день. С тревогой ждали утра участники строительства. Ничего нового не обнаружилось, работу на мосту решили продолжать — нужно было заменить временные болты на постоянные заклепки в некоторых местах фермы. Вдруг рабочие-клепальщики заметили еще один прогиб, на который сразу же обратили внимание инженеров. Однако и сейчас работы прекращены не были. На продолжении работ настаивал главный инженер — он боялся, что, если работы остановить, рабочие разойдутся и строительный сезон будет сорван.

Утром 29 августа пришла телеграмма от консультанта фирмы. Он предложил не допускать дальнейшего увеличения нагрузки на фермы, но положение катастрофическим не считал. Он даже прислал эскизный проект исправлений, причем считал, что для всех исправлений потребуется 3 часа работы и 100 долларов. Здесь проявилось полное непонимание ситуации — ведь нагрузка на нижний пояс уже превзошла критическую и остановить разрушение было невозможно.

В тот же день, за 15 минут до конца рабочего дня, мост рухнул. Все находившиеся на мосту рабочие и техники — всего 74 человека — погибли. Очевидцев катастрофы было трое — один работал на противоположном берегу реки, другой — на кране, установленном на консоли, — его сбросило в реку, но он спасся. Третий работал на береговой части моста и успел убежать до начала катастрофы.

Была назначена правительственная комиссия, расследовавшая причины этого страшного случая. Комиссия нашла, что катастрофа произошла по вине двух

инженеров: проектировщика и консультанта, одобренного проект.

Вина проектировщика заключалась в том, что он неправильно учитывал собственный вес сооружения при расчетах. Но что значит — неправильно? Ведь проектировщик использовал общепотребительные, принятые им, принятые всеми другими проектировщиками, привычные ему еще со школьной скамьи допущения при расчете собственного веса моста. Когда сделали проверку расчета, оказалось, что принятый (по формулам абсолютно правильно!) при расчетах собственный вес сооружения был меньше действительного на 20—30% (!). Когда о выгибе опор сообщили консультанту, он в соответствии с тем, как его учили в колледже, произвел расчет, не нашел ничего страшного и рекомендовал продолжать строительство. Такое решение можно объяснить недостатком опыта в практике строительства мостов из стальных конструкций. Консультант механически перенес имевшийся у него опыт строительства деревянных мостов на строительство принципиально новых, металлических конструкций.

Общая ошибка проектировщика и консультанта состояла в использовании ими неверного метода расчета конструкции на прочность. Уровень инженерных знаний того времени не позволял правильно произвести расчет. Это обстоятельство отметила и правительственная комиссия. После крушения Квебекского моста методы расчета на прочность стали очень быстро развиваться. Большой вклад в эту область строительной механики внесен советскими учеными, особенно профессором В. З. Власовым.

Квебекский мост научил проектировщиков во всем мире правильным методам расчета мостов из стальных конструкций. Всем стало ясно, что нельзя новую конструкцию значительно большего масштаба, чем раньше, к тому же намечаемую к постройке из других материалов, рассчитывать по старым формулам, не дав соответствующего запаса прочности, не проведя испытаний на моделях.

По-видимому, последнее и было главной стратегической ошибкой инженеров. Недостатки расчетных формул следовало бы вскрыть экспериментальным путем, путем тщательного исследования моделей моста. Эта ошибка тем более непростительна, что метод модели-

рования в начале нашего столетия был уже повсеместно используемым. Наиболее дальновидные инженеры давно поняли, что именно модели могут, избавив инженеров от волнений «натурного эксперимента», дать ту информацию, которую невозможно пока еще получить с помощью сухих математических формул.

## ИГРУШКИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРА

В первой тетради мы сделали попытку рассказать о том, как человек на протяжении всей своей истории учился на уроках натуральных экспериментов. Для того чтобы узнать, выстоит ли здание, его нужно было построить, а потом уже смотреть, что с ним будет, то есть проводить натуральный эксперимент над производством человеческих рук. Такой эксперимент, конечно, уникален по той информации, которую из него можно извлечь.

Недостатки этого вида эксперимента тоже очевидны — он дорого обходится и ничего не говорит относительно тех сооружений, которые будут в чем-то отличаться от испытанного.

В современных условиях на натуральный эксперимент идут, конечно, лишь в случае предстоящего массового производства и в исключительных случаях (сверхмощные генераторы, сверхзвуковые самолеты, космические аппараты) для единичных, уникальных устройств, сооружений, установок.

Но вот уже более ста лет инженеры в поисках информации о свойствах будущих крупных уникальных сооружений идут по иному пути — пути создания экспериментальных макетов, внешне представляющих собой уменьшенные копии тех устройств, свойства которых нужно предсказать. Эксперименты на макетах, выполненных из специально подобранных материалов с учетом некоторых «законов подобия», могут почти с полной достоверностью ответить на вопрос о будущем поведении намечаемого к постройке устройства. Слово «почти» употреблено потому, что никакие законы подобия не могут дать абсолютного приближения свойств макета к свойствам еще несуществующего оригинала.

Английский инженер Телфорд построил множество мостов и среди них мост через пролив Менай, подвешенный на железных цепях. Считать подвесные конструкции тогда еще не умели, и Телфорд, как и Кулибин, изготавливал модели моста, перекидывал их через овраг и уже на этих моделях находил линии цепей.

Когда мост был построен, он все же оказался недостаточно жестким. Проезжая часть иной раз наклонялась так, что падали лошади. Пришлось его укреплять. Оказалось, что модели не могут дать полного представления о проблемах будущего сооружения, и инженерам приходилось по-прежнему с тревогой ждать конца постройки их детища.

Помимо всего прочего, неодинаковость свойств устройства и модели определяется еще и так называемым «масштабным фактором» — различием свойств материалов в устройствах разного масштаба. Исследователями разработан ряд критериев, позволяющих судить о подобии физических процессов в явлениях разных масштабов, проходящих с разными скоростями, и т. п. Так, величина «числа Рейнольдса» однозначно определяет характер течения жидкости рядом с препятствием. Существует и ряд других критериев, облегчающих правомерный перенос выводов, сделанных на физической модели, на еще непостроенное реальное устройство (критерии Прандтля, Нуссельта, число Маха).

Метод постройки небольших моделей, повторяющих в каком-то масштабе еще непостроенное сооружение, получил особое развитие в прошлом веке. В то время резко упали цены на сталь — чуть ли не в 10 раз, и инженеры очутились лицом к лицу с новым материалом. Трудно представить себе, как редко использовалась сталь ранее, даже котел фултоновского парохода, гордо плававшего по Гудзону, был выполнен из... дерева!

Небольшие модели служили еще Стифенсону для исследования возможности постройки различных сложных сооружений и, в частности, мостов из нового материала — стали.

Стифенсон предложил, опираясь на свои расчеты, на исследования моделей, построить новые мосты — гигантские балки в виде короба из листов железа — и пустить внутри них поезда.



Проект нового моста через Менай поражал своей смелостью. «Балки» Стифенсона весили по 1500 тонн, они поднимались с плотов, стоящих на якорях в бурлящем потоке, с помощью примитивных домкратов. Не все верили в успех этого выдающегося по тем временам технического предприятия, но Стифенсон был спокоен. И оказался прав. Мост Стифенсона — короб из железных листов — оказался настолько прочным, что не колебался даже при прохождении железнодорожных составов.

Сравнительно небольшие построенные в разное время макеты — физические модели мостов, кораблей спасли много жизней, избавили человечество от напрасного опыта, позволили избежать лишних затрат. И наоборот, пренебрежение результатами, полученными на физической модели, приводило к печальным последствиям. Хрестоматийным в этом смысле является случай, произошедший в 1870 году в Англии.

Адмиралтейство должно было опробовать в море броненосец нового типа «Кэптен». Английский ученый-кораблестроитель В. Рид, построивший физическую модель этого корабля, обнаружил его крайнюю неустойчивость. Судно должно было перевернуться килем вверх даже при небольшом волнении в открытом море. Адмиралтейство было поставлено в известность о результатах Рида. Однако серьезные адмиралы не приняли во внимание выводов, полученных с помощью «игрушечных корабликов». «Кэптен» вышел в открытое море. При первом же мало-мальски серьезном волнении броненосец опрокинулся. Из-за косности чиновников адмиралтейства погибли 523 моряка и боевой корабль.

Работами В. Рида и У. Фруда были заложены основы теории моделирования кораблей, развитой впоследствии советским академиком А. Н. Крыловым. Крылов сумел на небольших моделях уточнить теорию явлений, происходящих при движении корабля.

Интересно еще раз убедиться в том, насколько высоко ценили теорию и практику моделирования наиболее передовые и дальновидные боевые адмиралы. Приведем для примера следующую выдержку из «Наставления, как пользоваться средствами непотопляемости», написанного в 1897 году знаменитым русским адмиралом Степаном Осиповичем Макаровым:

«...167. Модель. Выше было сказано, что необходимо во время аварии иметь ясное суждение о том, в каком положении находится судно, долго ли оно может продержаться и не предстоит ли опрокинутие.

Только опыт может дать должные указания, но так как делать такие опыты с судами нельзя, то следует обратиться к опытам с моделями.

168. Опыты с моделью броненосца «Victoria». В первый раз я сделал такую модель в 1894 году. Это было вскоре после ужасного случая с броненосцем «Victoria», который после получения пробоины наполнился до некоторой степени водою, а потом неожиданно для всех перевернулся и увлек вместе с собою адмирала Трайона, 22 офицера и 336 человек команды.

Для выяснения подробностей этого случая я сделал модель броненосца согласно данным, опубликованным в английских технических журналах, и произвел опыты с моделью. Оказалось, что модель чрезвычайно правильно повторяла все то, что происходило с броненосцем «Victoria». Впрочем, иначе и быть не могло: если модель сделана правильно, то она должна иметь те же качества, какие имеет само судно.

Опыты с моделью броненосца «Victoria» навели меня на мысль, что на каждом судне должна быть модель для испытаний по части непотопляемости.

169. Общее описание модели. Эта простая мысль получила свое осуществление лишь в настоящем году, когда мною была сделана модель ледокола «Ермак». Опыты с этой моделью дали весьма поучительный и наглядный материал; посему, согласно моему представлению, отпущено по 60 руб. на каждый броненосец для сделанная своими средствами моделей их...»

Если уж говорить об «игрушечных» кораблях, то следует упомянуть и еще об одном эпизоде. Дед Джеймса Клерка Максвелла геолог Джон Клерк тоже увлекался игрушечными кораблями, которые пускал в пруду. Многие часы он потратил, задумчиво передвигая стоящие в боевом строю игрушечные корабли, перерезая этот строй такими же игрушечными кораблями с парусами другого цвета. Никогда не выходивший в море Джон Клерк на основе результатов, полученных им на игрушечных моделях кораблей, написал книгу о тактике морских боев. «Этюды о морской тактике» Джона Клерка были переведены в России в 1803 году

капитан-лейтенантом Юрием Лисянским перед его отходом в кругосветное плавание. Пользуясь приемами, изложенными в книге, английские адмиралы одержали ряд крупных морских побед, в том числе над французским флотом у Ямайки, что решило в конечном счете судьбу французских колоний в Америке.

Можно ли проследить различие между моделями кораблей Рида и Макарова и моделями Клерка? Не можем ли мы на этом примере выявить разницу между просто макетом и макетом, играющим роль физической модели? Эта разница определяется целями, ради которых строятся макеты. В обоих этих случаях цели были достигнуты. Но какие?

Рид и Макаров получили ценную информацию относительно устойчивости корабля. Естественно, что при постройке своих моделей они использовали различные критерии подобия, тщательно подбирая размеры, материалы, вес своей модели. Это и позволило им перенести данные с модели на реальный корабль.

Джона Клерка интересовало другое — лишь взаимное расположение кораблей в бою. В принципе он мог бы обойтись, скажем, спичечными коробками или монетами, передвигаемыми по столу. Конечно, в последнем случае значительно уменьшилась бы яркость ассоциаций, необходимая для людей с образным строем мышления. А человек, привыкший мыслить абстрактно, мог бы вполне обойтись монетами, а возможно, и без них. Однако большинство людей лучше воспринимают именно модели, причем чем лучше и подробней они выполнены, тем больший круг ассоциаций вызывают.

Значит ли это, что в современном эксперименте макеты не нужны, а нужны только модели? Напротив. В практике современного проектирования макеты неожиданно начинают играть колоссальную роль. Усложнение технических проектов заводов, электрических станций со многими коммуникациями, сложными схемами, различными службами, проектируемыми разными людьми и организациями, нередко приводит к удивительным техническим ляпсусам: не хватает места, оставленного для какой-то установки; не стыкуются трубопроводы; на одном и том же месте должны быть смонтированы два различных устройства. Причина этих неувязок часто заключается в том, что люди даже

с очень развитым воображением уже не в силах охватить новый сложный комплекс в целом, представить его в своем сознании. Чтобы этого не случилось, в проектно-конструкторской практике все чаще создаются «объемные модели» — макеты будущих комплексов, состоящие из набора отдельных установок и коммуникаций между ними. Такой «конструктор для конструкторов» позволяет в процессе проектирования перепробовать многие варианты взаимного расположения элементов комплекса.

Раньше мы говорили о моделях, которые хоть в какой-то степени, необходимой для каждого данного эксперимента, сохраняют физическую природу моделируемой установки. Однако такие модели, называемые физическими, отнюдь не исчерпывают всего многообразия моделей.

Важно не то, похожа ли модель на объект, а то, похожи ли математические уравнения, описывающие модель и реальный объект, — вот принцип другого вида моделей, широко используемых на практике. При использовании таких моделей главным становится нахождение математических уравнений, описывающих моделируемый процесс или устройство.

Так, известно сходство математических уравнений электрического и магнитного поля. Это открывает возможность моделировать электрические явления магнитными и магнитные — электрическими.

Сходство уравнений течения жидкости и уравнений электростатического поля дает возможность создавать электрические модели течения жидкости или, наоборот, исследовать, например, электрические явления в аэродинамической трубе. Сравнительная легкость изучения электростатических процессов на полупроводящей бумаге привела к созданию специальных устройств, на которых можно достаточно просто моделировать широкий класс задач другой физической природы, но описываемых теми же уравнениями.

Такой подход позволяет широко использовать так называемые структурные модели, каждый элемент которых выполняет над входной функцией какую-нибудь одну математическую операцию — дифференцирует, интегрирует, возводит в степень, извлекает корень, умножает, делит и т. п. Набирая последовательность блоков, соответствующую математическому описанию

задачи, мы можем набрать «аналоговые модели» широчайшего круга явлений. Для этого набора служат обычно математические машины «непрерывного действия» или специальные моделирующие столы и стенды.

Но уж если речь зашла о моделировании физических явлений одной природы явлениями другой природы, и, более того, просто решением уравнений, то необходимо должен быть сделан и следующий шаг — моделирование явлений и процессов просто уравнениями, числами. Лучше всего это сделать, если задача сложна, на электронно-вычислительной машине. Так появляется новый класс моделей — математические, которые не в меньшей степени, чем физическая модель, могут ответить на вопрос о надежности будущего устройства.

### **ЕЩЕ О НЕДОСТАТКЕ ЗНАНИЙ, ИЛИ ВРЕД И ПОЛЬЗА КАТАСТРОФ**

Ученые, пользуясь «игрушками»-моделями, могут изучать в своих лабораториях поведение сооружений, прогнозировать их будущее, и поэтому все реже и реже происходят катастрофы, связанные с неизученностью явления. Тех, кто пренебрегает этой возможностью, неизбежно ожидают серьезные неудачи.

...Недалеко от американского города Джонстауна в Пенсильвании на ручье Саут Форк задумали построить водохранилище. Оно должно было обеспечить достаточный уровень воды в канале между Питерсбургом и Джонстауном. Ручей решили перегородить земляной плотиной, которая обеспечила бы заполнение водохранилища емкостью около 20 миллионов кубометров. Плотины по проекту получалась довольно большой: ее длина составляла 284 метра, ширина у основания — 61 метр. В 1839 году плотину начали строить и довольно быстро построили. Построены были и водоспускные трубы: их было пять и лежали они в основании плотины. В 1862 году оказалось, что вдоль труб фильтруется вода, их заглушили. Избытки воды могли теперь выливаться только через водослив.

С 28 мая 1889 года в районе плотины начались сильные дожди. Вода в водохранилище стала прибывать с угрожающей быстротой. Водослив с потоком воды не справлялся. Срочно приступили к строительству

дополнительного водосбросного канала. Грунт оказался очень твердым. Удалось прорыть лишь канал шириной 0,6 метра, глубиной 0,35 метра. Потоком воды он был очень быстро размыв до семиметровой ширины, но даже это не помогало: вода продолжала прибывать в водохранилище и стала переливаться через гребень плотины сплошным потоком шириной 90 метров. Поток размыв плотину, и вскоре она была прорвана почти по всей длине. Громадное водохранилище опустело за 45 минут.

Ниже плотины речная долина имела значительный уклон к Джонстауну. В долину и ворвался поток воды, образовав волну высотой 10—12 метров. Эта волна смыла все на своем пути, причинив огромные разрушения. Погибло более 2500 человек. О силе потока воды свидетельствует такой факт: в паровозном депо в 5 километрах от Джонстаунской плотины находилось 16 паровозов весом по 60 тонн. После катастрофы оказалось, что здание депо полностью разрушено, а паровозы разбросаны на расстояние до 400 метров. Вода, как щепки, отбросила многотонные машины.

Комиссия, расследовавшая причины катастрофы, установила, что сечения водосливов рассчитаны неверно: они были слишком узки и не могли справиться с паводками. С другой стороны, предсказывать паводки тогда тоже еще не умели, как не умели принимать меры по борьбе с ними.

27 апреля 1895 года во Франции близ города Эпиналя в Вогезах обрушилась каменная плотина Бузейского водохранилища. Прорыв воды явился причиной гибели 156 человек и опустошения долины шириной 2 километра и длиной 25 километров. Четыре деревни были разрушены полностью, железная дорога повреждена и движение по ней остановлено.

Плотина была построена в 1879—1881 годах и еще до катастрофы имела ряд повреждений местного характера.

Длина плотины была 520 метров, высота — 22 метра, ширина гребня — 4 метра. Полная глубина водохранилища — 15 метров.

Сразу же после постройки плотины в ее теле образовались две вертикальные трещины. Поэтому заполнение водохранилища было отложено на 3 года до исправления повреждений. Однако при первом же за-

полнении водохранилища произошла значительно более серьезная авария.

15 марта 1884 года водохранилище еще не заполнилось, но плотина уже не выдержала давления воды и средняя ее часть пришла в движение. Образовались еще четыре вертикальные трещины. При этом, как ни странно, плотина не обнаружила ни осадки, ни опрокидывания, она просто скользнула по глинистому основанию. Происшедший сдвиг плотины вызвал возникновение промоин в песчанике, на котором она стояла, вследствие чего началась усиленная утечка воды.

Стали спешно проводиться работы по устранению повреждений и усилению плотины.

К 1889 году эти работы были закончены. Они заключались в следующем: основание плотины было значительно усилено, а при помощи туннелей из основания были удалены и заменены каменной кладкой грунты, поврежденные при движении плотины.

В 1890 году плотина начала, наконец, эксплуатироваться. Спокойный период продолжался до рокового дня 27 апреля 1895 года. Крушение началось с того, что из тела плотины был выдавлен участок длиной 22 метра. Прорвалась вода. Мощная струя увлекла за собой соседние участки и расширила прорыв до 170 метров. Произошла катастрофа. В чем же ее причины?

При разрушении нижняя часть плотины осталась неподвижной. Значит, грунт после предыдущих аварий был укреплен достаточно хорошо. Но прошлые аварии не могли пройти бесследно: в теле плотины, безусловно, было много трещин. Эти трещины уменьшили и без того недостаточное сечение плотины. А непосредственной причиной катастрофы комиссия, расследовавшая ее, сочла возникновение длинной горизонтальной трещины в теле плотины, по линии которой дамба и была сорвана. Немалую роль здесь сыграли и волны, которые, по данным расследования, в течение трех дней, предшествовавших катастрофе, были направлены перпендикулярно к плотине, а в день аварии достигли особенно интенсивности.

Данные расследования аварии на Бузейской плотине были опубликованы и стали доступными для всех инженеров-гидростроителей. Тем прискорбнее тот факт, что по таким же практически причинам через несколько лет, 30 сентября 1911 года, произошло

крушение плотины близ города Остин в Пенсильвании (США). Плотина была сравнительно невелика: длина около 170 метров, высота — 15 метров. Однако последствия разрушения плотины были огромны — погибло около 100 человек.

Разрушение плотины в Остине очень напоминало катастрофу Бузейской плотины. Вскоре после окончания строительства 1 декабря 1909 года началось ее постепенное разрушение. В первый же месяц в теле плотины появились две вертикальные трещины. Примерно через месяц, 22 января 1910 года, когда водохранилище было заполнено водой, одна секция плотины сдвинулась вниз на 45 сантиметров, появилось еще несколько трещин.

Чтобы уменьшить давление воды на плотину, часть ее взорвали динамитом, водохранилище опорожнили и провели ремонт. Через месяц водохранилище вновь заполнили, но основание, такое же, как и у Бузейской плотины, ничем не укрепили, фильтрация воды продолжалась. Так плотина простояла 21 месяц до рокового дня катастрофы.

С инженерной точки зрения повторение катастроф в одинаковых условиях является совершенной несоразностью, преступлением.

Недостаток знаний и неумение инженеров-гидростроителей воспользоваться чужим опытом привели к огромным разрушениям и гибели большого числа людей. Но в то же время разрушения плотин послужили стимулом для развития науки о прочности гидросооружений, без которой, например, не могла бы осуществиться постройка гигантских плотин на реках Сибири, на Волге, высотной Асуанской плотины. Были разработаны специальные методы моделирования поведения плотины, прогнозирования ее будущего. Можно с уверенностью сказать, что повторение в современных условиях катастроф типа описанных — невозможная вещь. Уточнение методик расчетов и изучение опыта постройки и эксплуатации плотин полностью устранили крупные катастрофы гидротехнических сооружений, вызванные неопытностью инженеров. Главная заслуга в этом принадлежит исследователям, использовавшим для предсказания судьбы будущего сооружения «игрушечные» модели запланированных к строительству плотин и водохранилищ.



## МАЛЕНЬКАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ИСКРА

6 мая 1937 года после трехсуточного трансатлантического перелета над Нью-Йорком завис исполинский дирижабль «Гинденбург». Его гигантское тело длиной около 250 метров и объемом почти 200 000 кубических метров, заполненное водородом, приводилось в движение четырьмя огромными дизельными двигателями, каждый мощностью 1100 лошадиных сил. Около ста пассажиров, участники первого полета через Атлантику, пребывали на борту дирижабля в небывалой роскоши. Спортивные площадки, оранжереи, рестораны, комфортабельные каюты, прогулочные палубы — все было на этом красавце, гордости гитлеровского рейха. С этого перелета должны были начаться регулярные воздушные рейсы Германия — США.

Огромный корабль описывал на небольшой высоте круги над Нью-Йорком, и прохожие на улицах могли хорошо рассмотреть серебряную сигару с черной свастикой на корпусе.

В аэропорту оживление царило с самого утра. Радио передавало сообщения о прибытии корабля; репортеры и кинооператоры с нетерпением ожидали приземления. Однако командир «Гинденбурга» капитан Макс Прусс не торопился. Только около четырех часов дня, когда начали собираться грозовые тучи, он отдал приказ приземляться. Приземление происходило очень медленно и торжественно.

Причальные команды готовились уже принять корабль, а радиокомментаторы — сообщить о его приземлении, когда все встречающие заметили внезапную вспышку на корме корабля. В одно мгновение весь корабль был охвачен пламенем. Кто-то крикнул: «Спасайся!», и члены причальной команды разбежались во все стороны от стремительно несущегося вниз и расплескивающегося моря огня. Радиокомментаторы были близки к истерике, они только повторяли: «Это ужасно... это ужасно...»

Почти никто из пассажиров и членов экипажа не спасся. Многие погибли в огне, многие разбились о землю, когда пытались выпрыгнуть через иллюминаторы пассажирской кабины. Это был крах «Гинденбурга» и конец попыток применить дирижабли в качестве пассажирского транспорта. Подготовленные к постройке

еще большие дирижабли были законсервированы. В воздухе стали безраздельно властвовать самолеты.

Причиной катастрофы «Гинденбурга» была электрическая искра. Пока «Гинденбург» кружил в предгрозовом небе Нью-Йорка, его корпус зарядился атмосферным электричеством. Где-то проскочила искра. Водород в смеси с воздухом взрывается не хуже динамита. Инженеры-проектировщики учли, казалось, все; но они не сумели предусмотреть возможность явления, не укладывавшегося в привычную схему расчетов.

Вот другой пример, из совсем вроде бы другой области. Уже в наши дни супертанкер «Марпесса» шел вдоль берегов Сенегала за грузом нефти. Команда, не теряя времени, промывала пустые баки мощными струями теплой морской воды. Внезапно раздавшийся взрыв буквально разломил пополам недавно построенное огромное судно. Оно мгновенно затонуло. Двумя неделями позже в Мозамбикском проливе взорвался супертанкер «Мактра». Еще через день та же участь постигла либерийский танкер «Конг Хаакон VII». Самым загадочным в этих катастрофах было то, что взрыву всегда предшествовало промывание баков морской водой. Специалисты долго ломали голову над причиной катастроф до тех пор, пока канадский физик Эдвард Пиэрс не высказал предположения, что струи теплой морской воды, направляемые под большим напором на стенки баков, могут активно генерировать статическое электричество. Доказать это он умудрился в собственной ванной. Ему удалось убедиться в том, что ванна, по которой бьют теплые водяные струи, заряжается электричеством. И если даже там, в ванне, возникали крохотные электрические потенциалы, то в гигантских нефтяных баках могли возникнуть потенциалы порядка тысяч вольт. Вызванные ими искры приводили к взрыву смеси воздуха и нефтяных паров.

Электрическая искра, вызванная замыканием проводов под сиденьем американского космонавта Гриссома, привела 27 января 1967 года еще к одной трагедии — пожару на космическом корабле «Аполлон», поставленном к испытанию на вершине гигантской ракеты «Сатурн-1». Три космонавта — Вирджил Гус Гриссом, Эдвард Уайт и Рождер Чаффи, да и все готовившие испытания никак не могли ожидать, что шаблонная проверка может обернуться катастрофой.

Искра проскочила между двумя кусочками меди в поврежденном электрическом проводнике. Обогащенная кислородом атмосфера и горючие материалы обшивки, казалось, только ее и ждали. Все занялось в один миг. Кабина превратилась в пылающий ад. От космонавтов поступило лишь несколько слов:

— ...кажется, мы горим!..

— ...в кабине пожар!!!

А дальше — только крики ужаса. За 20 секунд все было кончено. Чьи-то обгоревшие пальцы остались на внутренней крышке люка. Спасение было невозможно: чтобы открыть люк, нужно было не менее 2 минут, да и то в спокойной обстановке. А этих 2 минут ни у астронавтов, ни у спасателей не было.

Горький урок извлекли конструкторы кабины из этого случая: нужно было изменить состав атмосферы корабля, сделав ее менее горючей, разработать быстродействующую систему аварийного выхода космонавтов и еще более тщательно проконтролировать надежность всей электрической схемы космического корабля.

На фоне этих трагических событий можно было бы совсем не заметить одного относительно маленького происшествия в небольшом итальянском городишке Пинеролло на ферме Буоденаска. Местные фермеры, спустившиеся к реке, необычайно расстроились при виде шести своих быков, неподвижно валявшихся на берегу. Быки были мертвы. Причиной их гибели явилась обыкновенная садовая улитка. Переползая через провода находившейся невдалеке электрической линии, улитка замкнула их; электрическое напряжение подалось в воду. Едва быки прикоснулись мордами к воде, как улитка, правда, уже мертвая, их нокаутировала.

Причина всех этих катастроф и «катастроф» — электрическая искра. Один раз она рождается за счет недостаточно надежной электрической схемы, и мы знаем, что бороться здесь нужно прежде всего улучшением качества, будь то улучшение качества проводов или более продуманная схема электроснабжения.

Другая искра может рождаться вообще без всяких проводников и сетей — она опасна тем, что возникает в самых неожиданных местах: на голове, когда расчесываешь волосы, на стенках цистерн, на шинах автомобиля. Волочащийся за бензовозом и дребезжащий

«хвостик» — не неаккуратность водителя: цепочка уводит в землю электрический заряд.

Особенно подверженными искрению за счет статического электричества оказались вещи «нейлонового века» — одежда, чулки, пластмассовая посуда. Зарегистрировано большое число взрывов автомобилей, возящих в багажниках синтетические канистры с бензином. Да и ощущать каждый раз удар, снимая синтетический свитер, не очень-то приятно. Еще одна задача для создателей материалов нашего века — неэлектризующиеся синтетические материалы. И еще одна задача для проектировщиков — предугадать все те места, где могут скапливаться электрические разряды, и вовремя отвести от людей и конструкций электрический удар.

Электрическая искра — это одно из тех явлений, опасную роль которых предусмотреть было трудно, но в принципе возможно.

А существуют ли явления, предугадать которые просто невозможно?

Оказывается, да. Уже при запуске самых первых спутников в Советском Союзе техника позволяла послать в космос человека, но осторожность взяла верх и была вознаграждена — с помощью спутников были открыты опасные радиационные пояса Земли. Орбиты современных космических кораблей рассчитываются таким образом, чтобы миновать их пагубное влияние.

Большую мудрость с точки зрения надежности проявили советские конструкторы, послав на Луну сначала автоматы. Эффектная высадка на Луне американских космонавтов была, конечно, впечатляющим спектаклем. Однако риск такой операции был громаден.

Приведем еще один пример. Мы уже писали о Стифенсоне, построившем мост в виде железного короба. Эта идея очень понравилась судостроителям — ведь что такое корабль, как не короб? Тем более что корабль может быть поднят на волнах так, что нос и корма окажутся на гребнях, а его середина будет в это время провисать таким же образом, как это происходит на нагруженном мосту.

Но вот странная вещь — чем больше строили таких кораблей по рецепту Стифенсона, тем яснее становилось, что эта конструкция для кораблей не подходит! С увеличением длины кораблей вероятность того, что

он переломится пополам при сильном волнении, резко возрастала. Такое произошло, например, со стометровым паровиком «Скенектеди», нагруженным рудой, во время шторма на Великих озерах в Америке.

А по расчетам возникавшие в корпусе напряжения были втрое меньше допустимых! Более того, испытания, проведенные непосредственно на кораблях во время шторма, показывали, что напряжения куда меньше разрушающих! Даже если учесть уменьшение площади плит за счет иллюминаторов и люков, то и в этом случае запас оставался многократным.

Никто из «практиков» не обращал внимания на сложные выкладки некоторых ученых, например русского Г. В. Колосова и англичанина Инглиса. «Теоретики» нашли корень зла именно в иллюминаторах, люках и прочих отверстиях в корпусе. И беду они видели не столько в том, что отверстия уменьшали площадь сопротивляющейся стали, а в том, что вскруг них создавались местные концентрации напряжений. Они указали также, что наибольшие концентрации возникают в случае острых краев, резких переходов, хрупких материалов.

Практики пренебрегли советами ученых, и продолжающиеся аварии еще долго держали их в состоянии недоумения. О том, сколь далеко иногда заходит косность конструкторов, можно судить по тому факту, что через полвека, уже в 60-х годах нашего столетия, реактивный пассажирский самолет «Комета» развалился в воздухе именно по этой причине. У него были прямоугольные иллюминаторы, в уголках которых образовывались страшные концентрации напряжений. Когда иллюминаторы выполнили круглыми, самолеты стали летать надежно.

Но исчерпываются ли приведенными примерами возможные причины катастроф, которые нельзя было предусмотреть с самого начала? Не забыли ли мы главного — человека, которому придется иметь дело с произведением своих же рук? Ведь предсказать поведение и поступки людей куда сложнее, чем учесть какие-нибудь неожиданные физические и технические факторы...

Именно ошибкой экипажа американские эксперты объясняют воздушную катастрофу, происшедшую 8 декабря 1972 года вблизи чикагского аэропорта Мидуэй

с самолетом «Боинг-707». В результате катастрофы погибло 40 из 55 пассажиров, 3 из 6 членов экипажа, два человека на земле. Самолет разрушил при падении пять домов.

Очевидцы могли видеть, как примерно за 2 километра до посадочной полосы самолет задрал нос, моторы его взревели, и он с высоты примерно 150 метров стал падать, срезая верхушки деревьев, на жилые дома в районе аэропорта. Там, на земле, он взорвался и загорелся.

Первой гипотезой официальных лиц, расследовавших аварию, было то, что пилот в момент посадки почувствовал себя плохо и, возможно, даже умер от инфаркта по причине сильного волнения, вызванного внезапно возникшей ситуацией. Самолет, уже шедший на посадку, должен был по приказу с земли совершить второй заход, так как посадочная полоса оказалась занятой.

Вскрытие, однако, показало, что пилот в момент своей смерти был здоров. Но действовать — по крайней мере действовать правильно — он все равно не смог. Дело было не в болезни, а во внезапно возникшей растерянности под влиянием неожиданной ситуации. У пилота, видимо, мгновенно выветрились из головы многие важные вещи, которые он обязательно должен был бы иметь в виду при посадке.

Все дело оказалось в «спойлерах» — интерцепторах — металлических пластинках, выдвигаемых из крыла самолета поперек потока для сокращения пробега при посадке. Садясь, пилот согласно инструкции выпустил интерцепторы. Однако вынужденный вновь подниматься, он пустил двигатели на полную мощность, но не смог достичь желаемого эффекта — он забыл убрать интерцепторы. После катастрофы был выпущен специальный бюллетень для пилотов. В нем еще раз, так, чтобы это никогда не могло забыться, выветриться, чтобы вошло в автоматизм, описывалось действие интерцепторов, разное при взлете и посадке.

«Человеческим» фактором специалисты объясняют и катастрофу, случившуюся с самолетом DC-4 швейцарской авиакомпания 15 мая 1960 года.

Одиноким суданский пастух видел в тот вечер, как в горный склон с ревом врезался громадный пассажирский самолет. Вспыхнувшее топливо за несколько ми-

нут оставило на камнях лишь опаленные бесформенные куски горелого металла. Никто и ничто, казалось, не смогло бы поведать людям о причинах катастрофы. Причины пришлось искать не здесь, на опаленном африканском склоне, а в архивах аэродромов, в логике событий, в психологии людей. Архивы поведали, например, о том, что верхний иллюминатор, через который проводилась в ночном полете корректировка курса по звездам, был на злополучном самолете давно и изрядно поцарапан. К радиоприемнику также давно уже имелись претензии. Радиомаяк, на который ориентировались пилоты в полете, был слишком далек. Сама команда, как выяснилось из расследования, была в полете к моменту катастрофы более тридцати шести часов.

Можно представить себе ужасающую картину беспомощности и безнадежности, царившую на этом маленьком островке отчаяния среди членов невероятно уставшего экипажа, летящего неизвестно куда, экипажа, не нашедшего в себе человеческих сил справиться с человеческими же ошибками, совершенными и ими, и их невольными «помощниками» на аэродромах...

Можно привести пример и из совершенно другой области. На учебных занятиях по атомной тревоге в энергетической системе диспетчеры энергосистемы оказались неожиданно в условиях сильнейшего стресса, душевного волнения. Нужно сказать, что не все диспетчеры быстро овладели собой и начали производить правильные действия по ликвидации аварии. Многие в растерянности делали совсем не то, что нужно, а некоторые вообще не могли от волнения пошевелить ни одним пальцем. Иногда «бездушная» ЭВМ имеет серьезные преимущества перед более умным, но — увы! — и более эмоциональным человеком.

## КАК ВЫГЛЯДИТ «РУКА СУДЬБЫ»?

11 апреля 1970 года в 22 часа 13 минут по вашингтонскому времени гигантская американская ракета «Сатурн-V» вывела на траекторию к Луне космический корабль «Аполлон-13». Целью запуска, как и для «Аполлона-11» и для «Аполлона-12», была высадка на

Луну. Предполагалось, что на этот раз космонавты будут в состоянии пробыть на Луне более длительное время и проведут ряд важных научных экспериментов.

Полет начался нормально. Космонавты четко перестроили корабль, провели с борта сеанс телесвязи. Американским телезрителям, да и самим космонавтам доставили много веселых минут неуклюжие попытки Ловелла причесаться в условиях невесомости. В соответствии с программой космонавты работали, отдыхали, ели. Полет проходил хорошо, даже весело.

В ночь с 13 на 14 апреля корабль был переведен с «траектории свободного возвращения» на так называемую «гибридную» траекторию. Корабль, находящийся на «траектории свободного возвращения», подобно камню, вернется на Землю даже при отказе всех двигателей. С «гибридной» траектории без двигателей на Землю вернуться невозможно. Переход на эту траекторию означал, что степень риска для жизни космонавтов резко возрастала: теперь уже отказ двигателей привел бы к неминуемой гибели. Все, однако, шло спокойно. До прилунения оставались сутки.

Неожиданное началось утром, в 6 часов 25 минут, когда космонавтов отделяло от Земли 330 тысяч километров. В мертвящей тишине космоса вдруг раздался резкий хлопок. Сразу вслед за этим внезапно стало резко падать напряжение топливных батарей — единственного источника электроэнергии основного блока корабля. Сначала отказали две батареи из трех, а когда ошеломленные руководители полета порекомендовали их отключить, неполадки обнаружились и в последней, третьей батарее. С Земли сообщили, что это третья батарея может обеспечить подачу электроэнергии только в течение 15 минут. Основной блок корабля, обескровленный, лишенный электричества и тепла, холодел и превращался в кусок мертвого металла, затерянного в глубинах космоса. И в этом холодеющем буквально на глазах корабле ужасом наполнялись сердца трех американских космонавтов...

Все надежды их обратились теперь к лунному отсеку, пока еще состыкованному с основным блоком, где они находились. Лишь в нем сохранялись запасы электроэнергии и работали системы жизнеобеспечения, рассчитанные, правда, всего на тех двоих, которые по



программе должны были опуститься на Луну. Там были и двигатели, с помощью которых лунный отсек поднялся бы с Луны и состыковался бы с основным, теперь уже безжизненным блоком корабля. Изменить траекторию таким образом, чтобы корабль вернулся на Землю, можно было только при помощи не предназначенных для этого двигателей лунного отсека после облета Луны.

В 9 часов 00 минут главный руководитель полета корабля «Аполлон-13» Кристофер Крафт объявил, что в связи с возникновением аварийной ситуации от посадки на Луну решено отказаться, и корабль «Аполлон-13» должен будет, облетев Луну, совершить аварийное возвращение на Землю. Запасов электроэнергии (на 48 часов), воды (на 92 часа) и кислорода, имевшихся в лунном отсеке, должно было хватить.

Ловелл и Хейс перешли в лунный отсек, Суиджерт остался в двигательном отсеке. Кислород к нему поступал через открытый переходный люк, для освещения он пользовался ручным фонариком.

Во время аварии в космос из корабля вырвались кислород и вода. Окна корабля обмерзли, и вести наблюдение было очень трудно.

Вокруг корабля образовалось облако осколков, по-видимому, льдинок. Система ориентации лунного отсека работала плохо, приходилось ориентировать корабль вручную.

В 11 часов 43 минуты были включены двигатели лунного отсека. Корабль перешел на траекторию свободного возвращения. 15 апреля корабль «Аполлон-13» облетел Луну и вышел на трассу Луна — Земля. К сожалению, вопрос о спасении космонавтов на этом не закрывался. Дело заключалось теперь в том, хватит ли небольших запасов электроэнергии, воды и кислорода, имевшихся в лунном отсеке, на трех космонавтов и 330 тысяч километров пути.

Итак, катастрофа в космосе...

Американские журналисты, освещавшие ход полета, не преминули обратить внимание своих читателей на следующие обстоятельства:

Несчастливый «Аполлон» имел номер 13.

Полет начался в 22 часа 13 минут.

Неприятности начались с переводом «Аполлона» на гибридную траекторию, то есть 13 апреля. День

13 апреля был не вторник и не пятница, а именно понедельник.

Число «13», без сомнения, является несчастливым и в сочетании с «понедельником» особенно опасным. Таким образом, во всех неприятностях, происшедших с «Аполлоном-13», как сочли журналисты, «явственно прослеживается тяжелая рука судьбы».

Чтобы разобраться в том, как выглядит «рука судьбы», последуем за тремя американскими космонавтами дальше, в их тернистом пути на Землю.

Запасов воды, кислорода и электроэнергии становилось на корабле все меньше и меньше.

Для экономии электроэнергии на корабле были выключены все системы, кроме системы жизнеобеспечения и телеметрии; связь с Землей осуществлялась сравнительно редко, причем для связи был использован радиотелескоп, способный принимать более слабые сигналы, чем обычные устройства связи с космическим кораблем. Освещение в лунном отсеке было неполным, в отсеке экипажа оно вообще не включалось. Вода в основном использовалась не для питья, а для охлаждения аппаратуры.

15 апреля в 6 часов сработал сигнализатор: в атмосфере корабля недопустимо возросло содержание углекислого газа. Специальная система поглощения углекислого газа, рассчитанная в лунном отсеке на двух, а не на трех космонавтов, отказала. Космонавт Хейс заменил эту систему на запасную, после чего содержание углекислого газа немного уменьшилось.

Уже сутки после аварии космонавты не отдыхали, беспокойство отгоняло сон. Лишь теперь они смогли немного поспать. Ловелл и Суиджерт расположились в отсеке экипажа. Хейс остался дежурить в лунном отсеке. Однако намеченный пятичасовой сон не состоялся, так как температура в корабле упала до 5—7°. Космонавты начали замерзать.

Из двигательного отсека, в котором произошел взрыв, снова началось истечение газов, нарушилась стабилизация корабля, он начал беспорядочно вращаться, через иллюминатор космонавты с ужасом видели быстро и незакономерно вращающийся небосвод. Вокруг корабля опять появилось облако мелких осколков. Очевидно, двигательный отсек продолжал разрушаться. Могла возникнуть необходимость в отделении

этого отсека, хотя это затруднило бы ориентацию корабля.

16 апреля в 21 час 58 минут корабль «Аполлон-13» прошел половину расстояния от Луны до Земли. Новых неполадок на корабле не возникало, только было очень холодно, особенно в отсеке экипажа, и поэтому космонавты этот отсек покинули: двое находились в лунном отсеке, третий — в переходном туннеле. Нужно было начинать подготовку к посадке на Землю.

17 апреля, уже непосредственно перед посадкой, космонавты отделили двигательный отсек. Впервые после аварии они смогли осмотреть его. Вид двигательного отсека был довольно плачевный: вырван большой кусок корпуса по всей длине двигательного отсека, повреждено сопло двигателя, на проводах застряли крупные осколки.

В 19 часов 27 минут космонавты перешли в отсек экипажа, в котором должны были вернуться на Землю, и задраили люк между ним и лунным отсеком. В 19 часов 43 минуты лунный отсек был отброшен, но у Земли, а не у Луны, как это планировалось, если бы не случилось аварии. При разделении Ловелл сказал: «Прощай, Аквариус! Спасибо тебе». «Аквариусом» назывался лунный отсек, который спас им жизнь после взрыва. Космонавты, живые и невредимые, только очень замерзшие, благополучно приводнились в Тихом океане...

Лишь тогда стало возможно скрупулезно разобраться в происшедшем.

Оказалось, что причины аварии были весьма просты. За две недели до старта «Аполлона» с «несчастливым» номером была предпринята попытка опорожнить один из бачков с жидким кислородом, расположенных в двигательном отсеке. Полностью опорожнить его не удалось, потому что был поврежден фильтр. Тогда решили включить нагреватель, чтобы попросту испарить остатки жидкого кислорода. Однако, как выяснилось впоследствии, техник, которому это было поручено, чтобы ускорить дело, подал на нагреватель напряжение вдвое большее, чем расчетное. Из строя вышли предохранительные устройства нагревателя, температура превзошла допустимый уровень, вследствие чего повредилась изоляция на проводах, ведущих к вентиляторам, перемешивающим кислород в бачке. Провода

провисли, и, когда в полете космонавты включили вентиляторы, произошло короткое замыкание. Загорелась изоляция на проводах, стенка бачка перегрелась и даже частично расплавилась. Из образовавшегося отверстия вырвался кислород под большим давлением. Струя кислорода выбила боковую панель корпуса и повредила другое оборудование.

Вот и все. Один из самых простых узлов в корабле, насчитывающем тысячи, десятки тысяч сложнейших элементов, оказался неисправным. К счастью, обошлось без человеческих жертв, но огромный труд десятков тысяч людей, готовивших этот полет, был загублен. Все произошло из-за небрежности одного техника, который, конечно, не мог предусмотреть столь трагических последствий этого, с его точки зрения, невинного шага.

«Рука судьбы» оказалась рукой техника, ставящего стрелку вольтметра на опасное деление. Рука каждого из десятков тысяч людей могла точно так же стать «рукой судьбы»...

В американском научно-техническом журнале «Флайт сэфти бюллетен» было опубликовано шуточное предупреждение инженерам и техникам, выраженное «законами Мэрфи» (законы эти названы так по имени их «первооткрывателя»):

1. Уроненный инструмент падает туда, где может причинить наибольший вред.

2. Любая трубка при укорачивании оказывается чересчур короткой.

3. После разборки и сборки какого-либо устройства несколько деталей оказываются лишними.

4. Количество имеющихся в наличии запчастей обратно пропорционально потребности в них.

5. Если какая-нибудь часть машины может быть смонтирована неправильно, то всегда найдется кто-нибудь, кто так и сделает.

6. Все герметические стыки протекают.

7. При любом расчете число, правильность которого для всех очевидна, становится источником ошибок.

8. Необходимость во введении в конструкцию принципиальных изменений возрастает непрерывно по мере приближения к завершению проекта...»

При всей «несерьезности» «законов Мэрфи» в них заложен глубокий смысл: создавая современные техни-

ческие устройства, приходится учитывать все. И не в последнюю очередь «законы Мэрфи».

Но можно ли учесть все? Можно ли сделать так, чтобы создаваемые человеком устройства никогда не отказывали? И главное — нужно ли?

## «КАТАСТРОФА ВЕКА»

9 ноября 1965 года на территории США и Канады произошла авария, которую сразу же назвали «катастрофой века». В этот день за 11 (!) минут на территории 200 тысяч квадратных километров, на которой расположены такие гигантские города, как Нью-Йорк, Бостон, Монреаль и многие другие, полностью отключилось электричество. Остановились электропоезда, троллейбусы. Тысячи людей застряли в метро, поезда которого остановились в туннелях между станциями. На погруженных в мрак улицах и дорогах бродили тысячи людей, а кругом царила автомобильная суматоха, вызванная тем, что погасли светофоры. Тысячи людей застряли в лифтах. Хирурги в операционных заканчивали операции при свете свечей. Самолеты не могли совершить посадку на погруженные в темноту аэродромы. Остановились все фабрики и заводы, застыл металл в электропечах. Говорят, зрелище погасших окон гигантского Нью-Йорка было невыносимо мрачным. В ту ночь зарегистрировано в несколько раз больше самоубийств, чем обычно. Одна молодая женщина выбросилась из окна шестого этажа, оставив на столе записку: «Я схожу с ума от этой темноты, я больше не могу». Подача электроэнергии была восстановлена только в 7 часов утра 10 ноября. Убытки, вызванные этой катастрофой, оказались колоссальными — ориентировочно около 100 миллионов долларов.

Как могла произойти такая авария? Чтобы разобраться в этом, нужно представить себе, что такое современная крупная энергосистема. Она в чем-то сходна с живым организмом. В ее состав входят электрические сердца — тепловые и гидроэлектростанции, кровеносные сосуды — линии электропередачи, соединяющие электростанции, капилляры — электрические сети, подающие электроэнергию тысячам и миллионам потребителей. Все действия в системе определяются гигантским

мозгом — системой управления, состоящей из тысяч приборов, реле, выключателей и других элементов. Нужно еще иметь в виду, что выработанная электроэнергия сразу же должна быть потреблена — люди, к сожалению, еще не научились запасать и хранить электричество в больших количествах. Что произойдет, если по какой-либо причине одна из линий электропередачи выйдет из строя? На том ее конце, где электроэнергия потребляется, будет зафиксирована ее нехватка, и потребители отключатся. Однако генератор, который эту электроэнергию производит, сразу остановить нельзя, и эта энергия пойдет в другие линии, которые перегрузятся и тоже отключатся. Если не принять соответствующих мер, процесс приобретет характер лавины. Электростанции и линии передачи будут отключаться одна за другой. Это и произошло 9 ноября 1965 года в США.

Северо-восток США и юг Канады обслуживаются энергосистемой CANUSE («Канада — США восточная»). Общая установленная мощность этой системы около 48 миллионов киловатт, 73% которых вырабатываются тепловыми электростанциями, а 26% — гидроэлектростанциями. 1% электроэнергии вырабатывается на дизельных, газотурбинных и атомных станциях. Электростанции, входящие в систему, соединены линиями электропередачи, некоторые из которых работают на напряжении 345 тысяч вольт, остальные мощные линии — на напряжении 230 и 115 тысяч вольт.

В тот вечер ничего не предвещало катастрофы. Система работала нормально, с общей нагрузкой 43,6 миллиона киловатт, что было вполне допустимо. В 17 часов 16 минут инженер ГЭС Ниагарского каскада заметил на щите управления сигнал об отключении одной из пяти отходящих в сторону Канады линий электропередачи. (Как впоследствии было выяснено, отключение произошло из-за неверного срабатывания одного (!) реле в системе защиты этой электростанции.) Теперь вся мощность станции пришлось на остальные четыре линии, которые не выдержали перегрузки и сразу же были отключены своей защитной автоматикой.

Дальнейшие события развивались очень быстро. Вся мощность этой гидроэлектростанции — около

1,2 миллиона киловатт — влилась в линию передачи Ниагара — Нью-Йорк. Эта перегрузка оказалась роковой. В 17 часов 21 минуту погас Бостон. Система Нью-Йорка отделилась от системы Новой Англии. В 17 часов 23 минуты отключилась система Центрального Гудзона. В 17 часов 24 минуты отделилась система Лонг-Айленда, отключился циклопический энергоблок мощностью 1 миллион киловатт (тогда это был один из трех самых крупных агрегатов в США). Наконец, в 17 часов 28 минут погас Нью-Йорк. Восемь штатов остались без электроэнергетики.

Причины аварии рассматривались специальной комиссией. В выводах комиссии было сказано много горьких слов о различных недостатках в устройстве энергосистемы, в ее эксплуатации. Но все это было, так сказать, размахивание кулаками после драки. А можно ли было до аварии на основании каких-либо интуитивных соображений, без применения специальных методов исследования работоспособности системы принять меры, которые бы сделали подобные аварии невозможными?

Нет, это практически было невыполнимо.

Можно утверждать, что с точки зрения канонов электроэнергетики система CANUSE спроектирована практически безупречно, и это было доказано ее многолетней безаварийной работой. С технической стороны, с точки зрения так называемого «здравого смысла» здесь для обеспечения бесперебойной работы было сделано все.

Действительно, разве мыслимо было задублировать все системы защиты? Или построить специальные резервные линии электропередачи, которые стояли бы в бездействии и ждали бы такой аварии? Разве можно было ежечасно, ежеминутно проверять состояние оборудования? Конечно, в конце концов можно сделать и это, но, с одной стороны, это приведет к безумным затратам, а с другой — могут ведь отказать и эти резервные части системы!

Итак, люди создали настолько сложные технические системы, что естественные, чисто интуитивные в большинстве методы предотвращения аварий стали непригодными. Уже нельзя сразу указать, какие элементы системы нужно усилить, какую часть системы разгрузить.

**И все-таки можно было сделать еще одно: рассчитать, возможна ли авария, и предусмотреть ее. И строить систему таким образом, чтобы авария не приобрела катастрофических масштабов.**

**Именно научно-технической революции XX столетия обязана своим появлением теория надежности. Эта теория впитала в себя и те методы, о которых мы говорили раньше, и некоторые другие очевидные способы повышения надежности, такие, как резервирование, дублирование, повышение качества изделий. В высшем курсе теории надежности мы находим ответы на такие вопросы, на которые нельзя ответить на основании даже самой богатой интуиции, опыта и «здравого смысла».**

**Но откуда возьмется эта теория? Не может ведь она возникнуть на голом месте? Видимо, и сама она существовала и развивалась где-то рядом в человеческой истории, будучи незамеченной, и лишь ждала своего часа, чтобы уберечь человека от вызываемых им же катастроф.**





## НА ПОДСТУПАХ К НОВОЙ НАУКЕ

...где на поверхности проис-  
исходит игра случая,  
там сама эта случай-  
ность всегда оказывается  
подчиненной внутрен-  
ним, скрытым законам.  
Все дело лишь в том, что-  
бы открыть эти законы.

*Ф. Энгельс*

*Техника усложнилась, и человек понял: чтобы его творения были надежными, мало обычных инженерных расчетов. Ему стало ясно, что цель теперь состоит в предсказании будущего, угадывании «случайного». В середине нашего века произошло воссоединение в одной науке и «абстрактных» методов математики, и инженерных методов техники, нуждающейся в повышении надежности систем и изделий. Выросшая из алчного любопытства любителей азартных игр, теория вероятностей стала фундаментом науки о надежности — мощного оружия, позволившего человеку избежать многих серьезных катастроф.*

## ПРИЧУДЫ И ЗАКОНЫ ИГРАЛЬНЫХ КОСТЕЙ

Либо мир является огромным хаосом, либо в нем царствуют порядок и закономерность.

Марк Аврелий. Размышления

Некоторые историки науки считают, что представление о вероятности ввел еще ученик Сократа Платон. Действительно, в «Тимее» Платона есть одна туманная фраза, которую при желании можно истолковать любым образом, в том числе и в пользу введения понятия вероятности:

«Как возникновение относится к бытию, так размышление относится к истине...»

Как бы там ни было, ясно, что древние не только знали о случайных явлениях, но и выводили из них некоторые закономерности. В знаменитой поэме «О природе вещей» Лукреций Кар пишет:

Первоначала вещей, разумеется, вовсе невольно  
Все остроумно в таком разместились стройном порядке  
И о движеньях своих не условились раньше, конечно,  
Но многократно свои положения в мире меняя,  
От бесконечных времен постоянным толчкам подвергаясь,  
Всякие виды пройдя сочетаний и разных движений,  
В расположенья они, наконец, попадают, из коих  
Вся совокупность вещей получилась в теперешнем виде

И, приведенная раз в состояние нужных движений,  
Много бесчисленных лет сохраняется так и при этом  
Делает то, что всегда обновляется жадное море...

Мудрецы видели, что кажущийся хаос лежит в основе правопорядка реального мира, его точных законов.

Уже в Древнем Китае и Древнем Риме знали о том, сколько продуктов нужно завозить ежедневно в крупный город, сколько там понадобится одежды к осени. Здесь интуитивно использовались некоторые законы теории вероятностей.

Важно разгуливали по священному саду Аполлона мудрые философы, создавая фундамент множества наук и в том числе науки, родившейся лишь спустя 2 тысячи лет — теории надежности. Но были люди, совсем далекие от научных устремлений, которые, как ни странно, тоже невольно содействовали прогрессу этой науки будущего.

Можно вообразить себе, как где-то в шумном портовом кабаке Древней Греции или в роскошном доме богатого купца садятся за стол несколько игроков. Нервность рук и блеск глаз выдают волнение, вызванное расположением бросаемых на стол костей... Азартные игры — бич человечества, спутник порока и сами — порок, приносившие шальное счастье, боль и страдание, уносили здоровье, богатство и даже жизни. Но приносили они с собой и некоторый опыт. «Как бросать кости, чтобы выигрывать?» — вот вопрос, волновавший в равной степени и бедного рыбака, и пресыщенного патриция. И придумывались «беспроигрышные» системы, и оставлялись с разочарованием... Относительно «беспроигрышных» систем существует даже средневековый анекдот, приведенный французским математиком Жозефом Бертраном в его книге «Исчисление вероятности»:

«Однажды в Неаполе преподобный Галиани увидел человека из Базиликаты, который, встряхивая три игральные кости в чаше, держал пари, что выбросит три шестерки. И действительно, он немедленно получил три шестерки. Вы скажете, такая удача возможна. Однако человеку из Базиликаты это удалось и во второй раз, и пари повторилось. Он клал кости назад в чашку три, четыре, пять раз, и каждый раз выбра-

сывал три шестерки. «Кровь Вакха! — вскричал предподобный. — Кости налиты свинцом». Так оно и было. Но почему предподобный воспользовался нечестивым выражением?»

Азартные игры — спутник человека на протяжении всей его истории. Есть указания на то, что и египтяне, и индусы, и древние греки с равным ожиданием и волнением всматривались тысячи лет назад в одни им ведомые знаки на игральных костях.

Греки называют конкретного изобретателя — Паламеда. Вряд ли! В песках Египта, в каменных храмах майя археологи находят игральные кости разной формы — четырех-, шести-, двенадцати-, двадцатиградные...

Римские легионеры играли костями коленной чашечки овцы, которые назывались талус или таксиллус, и заимствовали они эту игру у древних греков, называвших ее астроголос. А может быть, и сами легионеры в пыльных походах придумали ее и, скрашивая одиночество, кидали кости в тщетной надежде и ждали, когда выпадет «Венера» — бросок, в котором каждая кость выпадала своей, особой, определенной стороной...

Другие, совсем другие кости были у богатых римлян, красного дерева или дорогих камней, и назывались они по-другому — тессера. Но тем же, неизвестным еще пока никому законам подчинялись эти правительственные кубики.

Кости пришли с человеком и в средневековье. В кости играли даже монахи, у них игра, говорят, шла на «добродетели» — выигравший обязан был наставить проигравшего на путь истинный в отношении той добродетели, которая была тем проиграна.

Тонкостям игры в кости обучали в специальных школах — своеобразных «предшественницах» современных математических школ, где изучается теория вероятностей. Каким зависимостям подчиняется выпадение костей? Какие цифры будут на верхней стороне кубиков, когда они, умерив свой неровный бег, распределятся на столе, брошенные дрожащей рукой игрока? Видимо, предсказанию этого и обучали в старинных школах азартных игр, и, наверняка, тамошние «профессора» давно подметили некоторые закономерности.

Они не могли не заметить, например, что каждая сторона игральных костей «равноправна». И хотя при бросании костей в полной мере господствует случай, при достаточно большом количестве бросков каждая грань выпадает примерно равное число раз.

Это ощущалось интуитивно, и лишь Якоб Бернулли, один из первых представителей знаменитой швейцарской научной династии, придал неясным догадкам силу математического закона, «закона больших чисел» (очень близко к этому подходили и Галилей, и Паскаль). Вот какую мысль выразил он в книге «Искусство догадок», вышедшей в 1713 году: «По мере увеличения числа опытов частота события сближается со значением вероятности, то есть со «степенью уверенности в результате».

Чем больше раз метальщики костей, неугомонные и азартные, выбросят кости, тем упрямей дает себя знать равноправность граней; и «двойка», и «пятерка», и «шестерка» выпадут примерно равное число раз, причем «частота» их выпадения будет равна одной шестой. При 6000 бросков любая грань должна была бы выпасть около 1000 раз и «частота» ее выпадения была бы примерно  $\frac{1000}{6000} = \frac{1}{6}$ . С увеличением числа бросков действительная «частота» выпадения любой грани все более и более точно приближалась бы к значению  $\frac{1}{6}$ , к «значению вероятности».

Но что такое вероятность? Не изучали это понятие в школах азартных игр, не знали о нем безвестные игроки! Чтобы прийти к истокам, нам придется вернуться назад и попытаться выяснить, кто первым приблизился к этому понятию, что в него вкладывал, придется вернуться опять к Галилео Галилею.

Однажды к нему зашел приятель, любитель поиграть в кости.

— Почему, — спросил он, — играя тремя костями, мне удастся в сумме чаще получить десятку, чем девятку? Ведь все цифры равноправны, а девятка и десятка могут быть набраны одинаковым числом способов — шестью?

Размышления Галилея привели к созданию важнейшего инструмента расчетов вероятностей — комбинаторике. Галилей доказал, что важно не то, сколькими способами набираются числа 9 и 10, а то, сколько

вариантов выпадения костей приводят к суммам 9 и 10. Оказалось, что десятка может быть получена двадцатью семью способами, а девятка — двадцатью пятью. Следовательно, вероятности появления на костях сумм 10 и 9 относятся как 27 : 25.

Теория вероятностей из своей колыбели подавала советы. Но кому — игрокам! Говорят, со времен Галилея игроки в кости чаще ставили на десятку. И она в полном соответствии с законами природы выигрывала...

## МЕСЯЦ ИЗ ЖИЗНИ БЛЕЗА ПАСКАЛЯ

Исследователь жизни и трудов Паскаля, крупный венгерский математик Альфред Реньи в книге «Письма о вероятности» приводит интересную историческую реконструкцию процесса создания теории вероятностей.

Блез Паскаль, родившийся в городке Клермон-Ферране в 1623 году, столь рано проявил свой математический талант, что об этом позже стали рассказывать уже совсем маловероятные истории. Во всяком случае острый ум мальчика и общение его в раннем детстве с друзьями отца — знаменитыми учеными того времени Робером, Каркави, Мерсенном принесли необычайные плоды. Это был счастливый век. Процесс научного познания победил. Раскрепощались умы, рождая вопросы к природе. Какие типы законов ей свойственны? Шестнадцати лет Паскаль уже выпустил сложную научную книгу о конических сечениях, где доказал весьма важную теорему геометрии. Отец, боявшийся чрезмерного умственного истощения мальчика, одно время отнимал у него книги и просил друзей не растревлять страсть сына научными разговорами. Как выяснилось позже, у отца были серьезные основания — столь интенсивные научные занятия Паскаля вызвали его преждевременную усталость, его силы истощились, он стал склонен к ипохондрии, и однажды, чудом избежав смерти, он забросил научные труды и посвятил себя религии.

Это произошло в ночь на 23 ноября 1654 года. Ей предшествовали несколько дней сильного душевного волнения Паскаля. Записки, написанные той ночью в порыве религиозного экстаза, знаменуют новый период его жизни, малоэффективный в научном

отношении. Паскаль с религиозными «записками», написанными в ночь на 23 ноября 1654 года, — это совсем другой Паскаль, резко отличающийся от того, что был ранее.

Профессор Реньи делает из этого заключение о том, что понятие о теории вероятности было разработано Паскалем до 23 ноября 1654 года. Если же учесть, что последнее письмо Паскаля к Ферма было написано всего месяц назад и не содержало точного определения, то Альфред Реньи мог сделать предположение о том, что создание теории вероятностей потребовало у Паскаля месяц времени. Именно в этот период были написаны воображаемые письма Паскаля, вошедшие в книгу Реньи «Письма о вероятности».

Как отмечают биографы, в 1652—1654 годах Паскаль вел весьма рассеянный образ жизни. В 1653 году со своими знатными друзьями — Дамьеном Митоном, герцогом Роаннским и кавалером де Мере Паскаль совершил путешествие в Пуату. Чтобы скоротать время, приятели частенько прикладывались к игральным костям. И однажды кавалер де Мере задал друзьям два вопроса об игре в кости, которые потребовали от Паскаля размышлений.

Вопросы, которые поставил игрок в кости кавалер де Мере, были такие.

Сколько раз надо бросать две игральные кости, чтобы вероятность хотя бы однажды выбросить две шестерки была больше половины?

Пусть два игрока играют в азартную игру; в каждой партии шансы на выигрыш у них одинаковы; в начале игры ставки одинаковы; ставку выигрывает тот, кто первым наберет  $k$  выигранных партий. Как следует разделить ставку, если по какой-то причине игра прервана в тот момент, когда один игрок выиграл  $n$  партий, а другой —  $m$  партий?

Вопросы де Мере настолько заинтересовали Паскаля, что он написал 29 июля 1654 года (на этот раз действительное) письмо своему другу, знаменитому математику Ферма: «Дорогой г-н Ферма! Мною овладело нетерпение, и хотя я еще нахожусь в постели, мне трудно удержаться от того, чтобы взять перо и сообщить Вам, что вчера вечером г-н Каркави передал мне Ваше письмо о справедливом разделе ставки, которое привело меня в неописуемый восторг. Не стану рас-



тягивать вступления и скажу сразу: Вы вполне правильно решили задачу о костях и задачу о справедливом разделе ставки. Для меня это большая радость, поскольку теперь, когда мы получили столь изумительно совпадающий результат, я больше не сомневаюсь в собственной правоте.

Метод, которым Вы решили проблему разделения, восхитил меня еще больше, чем решение задачи об игре в кости. Многие, и среди них сам кавалер де Мере и г-н Роберваль, удачно ответили на последний заданный вопрос. Но де Мере не смог правильно решить задачу о разделе ставки, он даже не смог подступиться к этому вопросу, так что до сих пор я был единственным, кто знал правильное соотношение раздела.

Ваш метод вполне надежен; в свое время, когда я сам начал размышлять над указанным вопросом, я тоже шел подобным путем. Однако подсчет различных встречающихся комбинаций утомителен, и поэтому позднее мне удалось найти другой, более простой и изящный метод, о котором мне и хотелось бы Вам рассказать. Я и впредь хотел бы по мере возможности делиться с Вами своими мыслями. Я более не сомневаюсь в правильности полученного мной результата, так как он удивительным образом совпадает с найденными Вами. Как я вижу, истина одна: и в Тулузе, и в Париже».

В процессе последующей переписки родилась теория вероятностей. Однако увлеченный решением задач игральных костей, Паскаль «забыл» дать систематическое изложение разработанной им теории, что заставило Реньи «домыслить» четыре письма Паскаля к Ферма и самому изложить «пером Паскаля», что вкладывал Паскаль в понятие вероятности.

Один из важных философских вопросов, возникающих в этой связи, такой: на каких позициях стоял Паскаль, считал ли он вероятность субъективной оценкой психологического состояния наблюдающего субъекта, говоря, что вероятность — это мера нашей уверенности?

Нет, не было этого! Паскаль, как и многие ученые прошлых веков, странным образом успешно сочетал религиозную истовость с вполне материалистическим мировоззрением, когда дело касалось науки. Он твердо настаивает на том, что вероятность есть объективная

характеристика событий, ни в коей мере не зависящая от наблюдателя.

В вымышленном диалоге Паскаля с Митоном Реньи приводит интересный пример, касающийся вероятности кораблекрушений: «Я слышал, в Англии торговцы стремятся обезопасить себя от потери грузов, отправленных на корабле, заранее выплачивая некоторую сумму обществу, которое специально этим занимается; общество же взамен возмещает торговцу ущерб, если груз погибнет в результате кораблекрушения или же из-за нападения пиратов. Если же груз благополучно прибывает на место назначения, то первичный страховой взнос остается у общества. Несомненно, при установлении размера взноса торговец и общество как-то оценивают вероятность потери груза, и хотя оба суждения имеют чисто субъективный характер, все же, по-моему, и в этом случае можно говорить об объективной вероятности благополучного прибытия корабля; только нужно честно признаться, что нам эта вероятность неизвестна. Каково бы ни было наше личное мнение о шансах благополучного прибытия корабля в порт, оно никак не скажется на судьбе корабля. На нее оказывает влияние лишь объективная вероятность, которая является не чем иным, как квинтэссенцией объективных обстоятельств. Как по-Вашему, если бы Вы подумали, что некий корабль может утонуть и это на самом деле случилось бы, мог бы суд привлечь Вас к ответственности на том основании, что Вы послужили причиной катастрофы? Не правда ли, Вы отвергли бы обвинение, заявив, что Ваше личное мнение никак не могло повлиять на судьбу корабля? Будь я судьей, я снял бы с Вас обвинение в гибели судна, но осудил бы Вашу точку зрения относительно субъективности вероятности».

Паскалю первому удалось сформулировать законы теории вероятностей и придать им четкий философский смысл.

Анализ переписки Паскаля и Ферма послужил опорой книги Христиана Гюйгенса «О расчетах в азартных играх» (1658).

У Гюйгенса теория вероятностей имела несколько иное истолкование, чем у Паскаля. Как далеко можно обогнать свой век! Гюйгенс говорит не о «вероятности», а о «математическом ожидании», то есть как

раз о том понятии, которое лежит в основе современной теории надежности. Вот как он определяет «математическое ожидание»:

«Если число случаев, в которых я выигрываю сумму  $M$ , равно  $m$ , а число случаев, в которых я выигрываю сумму  $N$ , равно  $n$ , причем все случаи одинаково возможны, то значение моего ожидания равно  $\frac{Mm + Nn}{m + n}$ ».

Пророчески звучат сейчас слова Гюйгенса из его книги: «Я полагаю, что при внимательном изучении предмета читатель заметит, что имеет дело не только с игрой, но что здесь закладываются основы очень интересной и глубокой теории».

Затем появились уже упоминавшееся «Искусство догадок» Бернулли (1713), «Опыт анализа азартных игр» Монморта (1708) и «Об измерении случайности или о вероятности результатов в случайных играх» Абрахама де Муавра (1711). Все эти книги были прямо или косвенно связаны с перепиской Паскаля и Ферма и совсем непосредственно с азартными играми. Другие проблемы там не рассматривались. А они уже были поставлены жизнью.

Англичанин Джон Уоткинс составил в 1662 году таблицы смертности граждан в зависимости от возраста. Он опирался на мрачную статистику смертности, ведущуюся в Лондоне с 1592 года. Таблицы смертности были нужны для вычисления величины пожизненной ренты.

Вероятность того, что судно благополучно вернется из плавания, интересовала судовладельцев и страховщиков — в Англии зарождалась система страхования судов.

К сожалению, сама теория вероятностей для этих насущных нужд использовалась мало — она была для страховщиков слишком абстрактной наукой.

С другой стороны, «чистые» математики тоже весьма ревниво оберегали свою науку от вторжения самозванки, указывая, что она должна относиться скорее к философии. Или — к физике. Но не к математике. И это несмотря на то, что теория вероятностей была необычайно укреплена и расширена Гауссом, Лапласом, Пуассоном, Чебышевым, Пуанкаре, Марковым. Это может показаться странным, но именно легкая «приложимость» теории вероятностей к проблемам

естествознания, к экономическим и техническим наукам мешала ей войти в круг наук, обычно причисляемых к классической математике.

Лишь с 1900 года благодаря трудам Давида Гильберта теория вероятностей получила права гражданства. Гильберт поставил проблему — аксиоматически обосновать теорию вероятностей. 33 года потребовалось для того, чтобы эта задача была, наконец, решена. Это было выполнено выдающимся советским математиком А. И. Колмогоровым.

Теория Колмогорова служит сегодня основой построения и понимания современной и вместе с тем древнейшей науки — теории вероятностей. Именно на ее основе инженеры могут делать далеководущие выводы, предсказания, с ее помощью они смогли, наконец, ввести в свои расчеты случайность.

## КАК ОПИСАТЬ СЛУЧАЙНОСТЬ?

Еще недавно понятия теории вероятностей казались совершенно абстрактными, а уже сегодня многие довольно свободно ориентируются в ее положениях и терминах. Возьмем сначала понятия о «вероятном» и «невероятном». Какие числа, например, могут, а какие не могут представлять продолжительность жизни человека? Существует ли максимальный для человека возраст или величина, определяющая возраст, может принимать любые значения? Мы, конечно, не решимся вообразить, что человек может прожить 1000 лет. В соответствии с формулами, выведенными из современных таблиц смертности, доля людей, которые могли бы дожить до 1000 лет, равна единице, деленной на число, записывающееся единицей с тремястами шестью нулями. Утверждение, что человек может дожить до такого возраста, лишено смысла с точки зрения биологии, но если его рассматривать исключительно с точки зрения статистики, то оно не противоречит опыту. В течение столетия рождается не более 10 миллиардов людей, и чтобы опровергнуть вышеуказанное утверждение статистически, потребовалось бы более чем  $10^{350}$  столетий, что превышает возраст земного шара более чем в  $10^{340}$  раз. Очевидно, что столь малые вероятности совместимы с нашим понятием невозможности. Мож-

но было бы подумать, что их применение является полным абсурдом. В действительности оно совершенно безвредно и приводит к упрощению многих формул. Кроме того, если бы мы решили всерьез исключить возможность дожить до 1000 лет, то тут мы столкнулись бы с большими трудностями, ибо мы должны были бы допустить существование максимального возраста. А право же, предположение о том, что человек может прожить сколько-то лет, но не может прожить на 10 секунд больше, нисколько не убедительнее, чем представление об отсутствии границы для продолжительности жизни. Так мы приходим к математическому понятию о «невероятном».

Условимся называть событиями результаты опытов или наблюдений. Так, мы будем говорить о событии, заключающемся в том, что из пяти подброшенных вверх монет три упали гербом вверх. Событиями будем также называть состав выборки («среди 85 человек двое — левши») и результаты измерения («температура  $80^{\circ}$ », «семь бракованных деталей»).

Наблюдаемые нами события можно подразделить на три вида: достоверные, невозможные и случайные.

Достоверным называется событие, которое произойдет обязательно, если осуществлена некоторая совокупность условий. Например, если монета подброшена на Земле, причем ее начальная скорость равна 1 метру в секунду, то событие «монета упала на Землю» является достоверным. Аналогично невозможным называют событие, которое при данных условиях заведомо не произойдет. Например, при тех же условиях событие «монета улетела на Луну» является невозможным.

Случайным называют событие, которое в данных условиях может произойти, а может не произойти. Та же монета может упасть так, что сверху будет или герб, или надпись. Поэтому событие — «при падении монеты выпал герб» — случайное.

Каждое случайное событие (выпадение герба или надписи при бросании монеты, например) есть результат действия очень многих причин (среди них сила, с которой брошена монета, форма монеты, состояние атмосферы в том месте, где она брошена, и т. п.). Невозможно учесть влияние всех этих причин, тем более что некоторые из них могут быть вообще неизвестны. Поэтому теория вероятностей не ставит перед собой

задачу предсказать, произойдет единичное событие или нет, она просто не в силах это сделать.

По-иному обстоит дело, если рассматриваются случайные события, которые могут многократно наблюдаться при осуществлении тех или иных условий, то есть если речь идет о массовых случайных однородных событиях. Например, хотя и нельзя определить наперед результат одного бросания монеты, можно указать, причем достаточно точно, число появлений герба, если монета в одинаковых условиях будет подбрасываться большое число раз. Достаточно большое число однородных случайных событий независимо от их конкретной природы подчиняется определенным закономерностям, а именно вероятностным закономерностям. Установлением этих закономерностей и занимается теория вероятностей.

Продолжим наш разговор о событиях и введем еще несколько определений.

События называются несовместными, если на протяжении испытания появление одного из них исключает появление других. Например, выпадение герба и выпадение надписи при одном бросании монеты — события несовместные.

События называются единственно возможными, если в результате испытания лишь одно (и только одно!) из этих событий является достоверным. Например, если вы стреляете по мишени в тире, то возможны только два события: попадание в мишень или промах. Эти события единственно возможные.

События называются равновозможными, если есть основания считать, что ни одно из этих событий не является более возможным, чем другие. Появление герба или надписи при бросании монеты являются равновозможными событиями, если мы предполагаем, что монета изготовлена из однородного материала, имеет правильную форму, а наличие чеканки не оказывает влияния на выпадение той или иной стороны монеты.

Теперь уже мы подошли к тому, чтобы ввести основное определение — что же такое вероятность? Определение вероятности не единственно. Поэтому мы сначала введем так называемое классическое определение вероятности. Рассмотрим, например, извлечение шара из урны, в которой находится 10 шаров — четыре красных и шесть белых. Пусть нас интересует событие,

закрывающееся в извлечении из урны красного шара. Очевидно, что возможность вынуть из урны красный шар меньше, чем белый (их там меньше). Можно ли охарактеризовать эту возможность числом? Разумеется, можно. Это число и будет вероятностью события. Таким образом, вероятность есть число, характеризующее возможность события. Подсчитаем это число для нашего примера.

Будем рассматривать появление красного шара как благоприятный для нас исход испытания. А сколько всего исходов может иметь место в данном случае? Естественно, десять — в урне всего десять шаров. Легко видеть, что эти исходы единственно возможны (обязательно появятся хотя бы один шар) и равновозможны (шары одинаковы и тщательно перемешаны, шар вынимают наудачу). Сколько благоприятных для нас исходов может быть при испытаниях? Конечно, четыре — в урне всего четыре красных шара.

Отношение числа благоприятных исходов к общему числу исходов и называется вероятностью события. Так, в нашем примере вероятность извлечь из урны красный шар составляет  $\frac{4}{10}$ .

Из определения вероятности вытекают ее основные свойства: вероятность достоверного события равна единице, вероятность невозможного события равна нулю, вероятность случайного события заключена между нулем и единицей. Эти свойства совершенно очевидны и не нуждаются в каких-либо доказательствах.

Однако такое определение вероятности имеет несколько существенных недостатков. Например, как быть, если число исходов испытания невозможно указать заранее? Далеко не всегда можно доказать, что исходы испытания равновозможны или единственно возможны.

Поэтому наряду с классическим определением вероятности используют также ее статистическое определение. За вероятность события принимают отношение числа испытаний с благоприятным исходом к общему числу фактически проведенных испытаний. Главное отличие определений состоит в том, что при классическом определении вероятность можно вычислить до проведения испытания, да и вообще для вычисления вероятности никаких опытов можно совсем не производить. Статистическое же определение требует

обязательного проведения испытаний, причем чем больше их проведено, тем больше точность вычисления вероятностей.

Любые события могут быть независимыми и зависимыми. Независимыми называются события, если вероятность одного из них не зависит от появления или не появления другого.

Вернемся к нашему примеру с урной и шарами. Мы вычислили вероятность того, что при первом извлечении из урны появится красный шар. А если попытаться выяснить, какова вероятность появления красного шара при втором извлечении? Естественно, эта вероятность будет зависеть от того, какой шар вынули в первый раз. Теперь уже изменится число возможных исходов — в урне остается только девять шаров. Изменяется и число благоприятных исходов. Действительно, если первый раз извлекли белый шар, то в урне осталось четыре красных шара и пять белых, то есть вероятность появления красного шара при втором извлечении будет  $\frac{4}{9}$ . Если же в первый раз извлекли красный шар, то в урне осталось три красных шара и шесть белых, и интересующая нас вероятность будет составлять только  $\frac{3}{9}$ . Таким образом, мы приходим к очень важному понятию — понятию условной вероятности, которое очень часто встречается в приложениях теории вероятностей. Условной вероятностью называют вероятность некоторого зависимого события при условии, что уже произошло какое-то другое событие.

На практике мы всегда имеем дело с так называемыми случайными величинами. Это величины, принимающие только одно возможное значение, наперед неизвестное и зависящее от случайных причин, которые заранее не могут быть учтены. Например, число мальчиков среди ста новорожденных есть случайная величина, которая имеет возможные значения от нуля до ста. Расстояние, которое пролетит снаряд после выстрела, тоже случайная величина, зависящая не только от типа орудия и установки прицела, но и от многих других причин (силы и направления ветра, температуры и т. д.). Каждому значению случайной величины соответствует определенная вероятность, с которой эта случайная величина появляется при испытаниях. Действительно, среди ста наугад выбранных новорожденных вряд ли будут одни девочки или мальчики; ве-



роятности таких событий будут весьма малы. С другой стороны, велика вероятность того, что число мальчиков и девочек будет приблизительно одинаковым. Мы приходим к выводу, что задание только значений случайной величины еще не описывает ее, необходимо, кроме того, задать те вероятности, с которыми эта величина может принимать те или иные значения. Соответствие между значениями случайной величины и их вероятностью называют законом распределения случайной величины.

Закон распределения случайной величины с наибольшей полнотой описывает эту величину. Мы можем предсказывать вероятности интересующих нас значений случайной величины и на этом основании прогнозировать ее поведение.

Естественно, что математики давно уже, начиная с Гаусса, занимались исследованием различных законов распределения случайных величин. Их интересовали предпосылки возникновения тех или иных законов, каковы физические причины, приводящие к тому или иному закону распределения. На этом пути ими были достигнуты значительные успехи. Была разработана стройная теория распределений, которая широко используется в современной инженерной практике. Это распределения Гаусса, Пуассона, гамма-распределение, экспоненциальное распределение и целый ряд других. Все они используются в теории надежности. Однако особенно большое значение в последнее время для теории надежности приобрели так называемые распределения экстремальных значений, большой вклад в развитие которых внесен советскими учеными, особенно трудами академика АН УССР Б. В. Гнеденко.

В очень многих случаях инженеров интересует наибольшее или наименьшее значение случайной величины, так называемое экстремальное значение. Рассмотрим пример. На некоторой реке необходимо построить плотину. Спроектировать ее надо таким образом, чтобы она не была разрушена паводком. Каким образом узнать возможную величину паводка, скажем, через 100 лет? По утверждению комиссии США по водным ресурсам, «какие бы большие паводки ни наступали, всегда можно ожидать еще больших. Так утверждает теория экстремальных значений и это подтверждает практика». Но нельзя же рассчитывать плотину на

неограниченно большой паводок, такой, который может возникнуть, скажем, один раз в течение ста тысяч лет. В этом случае пришлось бы намного зависить необходимую стоимость сооружения. Здесь на помощь приходит теория экстремальных значений. Она позволяет на основании предыдущих наблюдений за случайной величиной предсказать, какие значения и с какой вероятностью в будущем может принимать эта случайная величина, в данном случае высота паводка.

Число областей, в которых необходимо оценить максимальные (или минимальные) значения случайной величины при последовательных ее наблюдениях, буквально неограниченно. Такими вопросами задаются геофизики при оценке максимальной скорости ветра, специалисты по электросетям — при расчете максимальной нагрузки в энергосистеме, кораблестроители — при расчете прочности корабля при максимальном волнении на море и многие другие специалисты.

В теории надежности нашло неожиданное применение еще одно из направлений теории вероятности — теория массового обслуживания.

На начальное развитие этой теории большое влияние оказал датский ученый А. К. Эрланг. Его труды в области проектирования и эксплуатации телефонных станций явились толчком к появлению ряда работ в области массового обслуживания. Огромную роль в развитии этой теории сыграл выдающийся советский математик А. Я. Хинчин. Большую работу по дальнейшему развитию идей и методов теории массового обслуживания ведет крупнейший советский математик Б. В. Гнеденко со своими учениками. Значительный вклад в развитие этой теории внес А. Н. Колмогоров.

Какие же вопросы решает теория массового обслуживания? Уже само название теории в какой-то степени раскрывает ее содержание. Сразу ясно, что содержание теории имеет отношение к обслуживанию, причем к обслуживанию массовому. При этом под обслуживанием понимаются все его виды даже в переносном смысле. В прямом смысле примером обслуживания является обычное бытовое обслуживание — продажа билетов, ремонт телевизоров в ателье и т. д. В переносном смысле «обслуживанием», например, можно назвать обстрел артиллерией танков противника.

Предметом теории массового обслуживания является

ся количественная сторона процессов, связанных с массовым обслуживанием.

Целью теории является разработка математических методов для отыскания основных характеристик процессов массового обслуживания, для оценки качества функционирования обслуживающей системы.

Рассмотрим несколько примеров применения теории массового обслуживания, связанных с использованием ее в теории надежности.

Возьмем организацию ремонта автомашин. В автохозяйстве всей страны и даже в большом автохозяйстве крупного города число машин очень велико. Время от времени некоторые машины выходят из строя и требуют ремонта. Для его проведения необходимо иметь авторемонтные предприятия, необходимую рабочую силу и запасные части. Но каким образом определить, например, необходимое количество авторемонтных предприятий? Если их будет очень много, то часть из них будет простаивать из-за недостаточного числа поврежденных машин. Если же их организовать слишком мало, то часть машин будет простаивать в ожидании ремонта. Помощь в нахождении оптимального числа таких заводов и оказывает теория массового обслуживания.

Если рассматривать выход из строя элемента системы как потребность в обслуживании, то теория массового обслуживания позволяет находить количественные показатели надежности различных систем, обосновывать выбор элементов этих систем, исходя из необходимой надежности всей системы в целом.

Из приведенных примеров видно, что теория вероятностей к середине нашего века уже «созрела» для того, чтобы ее практически использовать в целях повышения надежности создаваемых сегодня сложнейших устройств и систем. С другой стороны, к этому же времени и техника стала испытывать насущную необходимость в новом подходе к ее надежности.

## НА ПОДСТУПАХ К НОВОЙ НАУКЕ

Наука о надежности изделий — это наука XX века, даже, скорее, второй половины XX века. Никогда вопросы надежности не стояли так остро, как сейчас, в эпоху научно-технической революции. Конечно, и соз-

датель первого в мире парохода волновал вопрос — что станет с судном, если вдруг откажут котлы и двигатели? Тогда вопрос этот решался относительно просто — конструкторы первых пароходов предусмотрели резерв в виде парусов. Но разве мыслимо представить современный красавец-теплоход, несущий на себе в трансатлантическом рейсе запасные паруса и мачты! Когда-то в городах остерегались переходить на газовое освещение улиц и прокладывать газопроводы — опасались, что весь город погрузится в темноту при аварии на газовой магистрали. Боялись даже, что злоумышленники способны специально взорвать газопровод, чтобы в темноте безнаказанно совершать преступления. Не все решались, и не без оснований, летать на первых самолетах.

Все эти страхи были преодолены. Первые летчики были чем-то сродни цирковым акробатам, работающим без страховки, — на демонстрационные полеты стекались тысячи любителей острых ощущений. Появились первые автомобили, появились радиоустройства. Во много крат возросло число причин, по которым сложное устройство может перестать работать. Бывали моменты, когда новая техника испытывала «кризис доверия». Люди предпочли бы иметь дело с более простой и надежной техникой, но она развивалась все дальше и дальше. Появилась скоростная авиация, могучая и очень сложная военная техника; в быт, в повседневность все больше входили различные радиоэлектронные устройства. Все острее и острее вставал вопрос надежности.

Фирма «Додж Бразерз», одна из крупнейших американских автомобильных фирм, много лет назад выдвинула лозунг «Доверие к Доджу». Имелась в виду повышенная надежность автомобилей этой фирмы. И они, в общем, были надежны. Но надежность в этом случае обеспечивалась, конечно, очевидными средствами: на случай отказа стартера, например, к машине приложена была заводная рукоятка.

Новые и новые успехи техники, невероятное усложнение ее ставили все новые проблемы.

...На весь мир трубили пресса и радио третьего рейха о готовящемся в секретных арсеналах «оружии возмездия», которое должно было поставить на колени врагов фюрера. И вот, наконец, в 1944 году немцы пус-

тили его в ход. Это были летающие самолеты-снаряды «Фау-1» и «Фау-2». На головы мирных жителей падали бомбы, сея смерть и разрушения. Первое впечатление было ошеломляющим. Но потом выяснилось, что примерно десять из каждых двадцати ракет не долетали до цели. Они сворачивали с курса, взрывались в воздухе, взрывались на старте. Конструкторы этих ракет, возглавляемые Вернером фон Брауном, «любимцем фюрера», сбились с ног. Они усиливали одни узлы, но тогда отказывали другие. Сейчас бы мы сказали, что надежность системы, примененной в этих ракетах, недостаточна, и смогли бы даже оценить эту надежность некоторыми количественными показателями. Но тогда еще не существовало теории надежности. Больше того, основной математический аппарат этой теории — теория вероятностей не преподавалась в нацистских университетах, поскольку была, по определению нацистских идеологов, «французской наукой, которой нет места в мире, где все подчинено железной воле фюрера». И хваленое «оружие возмездия» тихо умерло, не оставив заметного следа в истории великой войны. А вот современные ракеты, доставляющие космонавтов на околоземные орбиты и даже на Луну, не могут быть спроектированы и изготовлены без использования теории надежности.

К пониманию необходимости этого привел рост сложности технических систем. Если в 1945 году самолеты-бомбардировщики США (типа В-17 и В-29) имели в своем радиооборудовании до 200 элементов, то в 1960 году (тип В-58) — до 9500, а в 1965 году (тип В-70) — до 15 000 элементов.

Вычислительное устройство, входившее в систему дальнего обнаружения противовоздушной обороны США, содержало свыше 50 000 электронных ламп, 170 000 полупроводниковых диодов, 547 000 сопротивлений, 189 000 конденсаторов и большое число других элементов.

Система управления американской межконтинентальной баллистической системы «Атлас» содержит около 300 000 различных элементов, а система управления ракеты «Найк» — свыше 1 500 000 элементов.

Система автоматического управления современными металлургическими или химическими процессами включает до 200—300 отдельных контрольных и регу-

лирующих приборов, каждый из которых состоит из 100—200 компонентов.

Ответственность, лежащая на современных технических системах, необычайно велика. Отказ, казалось бы, самых незначительных элементов приводит теперь к крупным экономическим потерям. Например, при запуске спутника в США отказ элемента стоимостью в 5 долларов вызвал аварию, экономические последствия которой оценивались в 8 000 000 долларов.

Вскоре после второй мировой войны стало ясно, что существующие методы проектирования, разработки и производства следует коренным образом изменить. Исключительно сложные системы, часто требующие принципиально новых научно-технических решений, нужно было проектировать и изготавливать в относительно короткие сроки, обеспечивая при этом высокую вероятность выполнения этими системами требуемых функций. Теперь уже не было времени на то, чтобы действовать старыми методами проектирования, заключающимися в точной проверке, повторном проектировании и повторной проверке до тех пор, пока не будет получена удовлетворительная продукция. Но дело было и не только во времени. Недавно в центральных газетах появилось сообщение о завершении изготовления турбогенератора мощностью 1 200 000 киловатт (для сравнения напомним, что Днепрогэс в момент постройки имел мощность 640 000 киловатт). Два Днепрогэса в одном агрегате! Спрашивается, можно ли позволить себе изготовить несколько таких агрегатов, уникальных по стоимости и сложности, лишь для проверки решений? Нет, конечно, нельзя. Все возможные варианты технических решений необходимо проверить заранее, и из них должны быть выбраны такие, которые обеспечат безотказную работу уникального турбогенератора в течение многих лет.

А сложнейшие электронные вычислительные машины! Они стали верными, а подчас и незаменимыми помощниками человека при решении сложных задач. Но если машина ошибается, то последствия этой ошибки могут быть весьма серьезными. ЭВМ совсем не «безгрешны». В городе Лос-Анджелесе для расчета зарплаты учителей была применена электронно-вычислительная машина. В первый же месяц работы она ошиблась более чем в 2 тысячах случаев: от нее пришлось

отказаться и заменить ее счетоводами. Когда ЭВМ «принимали на работу», удалось сократить 30 сотрудников, а когда расставались с электронным бухгалтером, пришлось взять 60 человек, чтобы они нашли и исправили сделанные им ошибки. Здесь ошибки в конце концов оказались поправимыми. А если электронная машина управляет химическим комбинатом или полетом космического аппарата? Неправильное срабатывание или неверное решение может привести к непоправимым последствиям.

О повышении надежности говорят сейчас не только инженеры и ученые, но и государственные деятели. Во введении к своей книге «Надежность» американские авторы Д. Ллойд и М. Липов пишут: «Ненадежность сказывается на стоимости, на временных затратах, психологически — в виде неудобств, а в определенных случаях грозит также безопасностью людей и нации. Обычно потери за счет ненадежности представляют собой не только стоимость выходящего из строя агрегата, но также и стоимость связанного с ним оборудования, которое портится или разрушается в результате отказа... Классическим примером психологического эффекта ненадежности являются печальные памяти спутники «Авангард». Соединенные Штаты, остро переживая успехи России, запустившей спутник-1, попытались вступить в соревнование, используя для этой цели почти неиспытанную ракету, которой пришлось работать почти на пределе своих возможностей. Неудачи и последовавшие за этим уныние и потеря престижа были очень серьезны».

В 1971 году командование ВВС ФРГ пустило на слом 30 реактивных самолетов типа «Старфайтер» американского производства, которые летчики называли «летающими гробами». К этому моменту бундесвер в результате катастроф потерял 139 «Старфайтеров» и более 60 летавших на них пилотов. Это был серьезнейший удар по престижу американских самолетостроительных компаний.

Повышение надежности техники стало насущнейшей практической необходимостью.

К несчастью, поначалу в области надежности, как это часто бывает при развитии любой новой области исследований, цели и задачи не были сформулированы достаточно ясно. Не было единого мнения и о методах

новой теории. Больше того, не было четкости в самом определении надежности технической системы.

Потребовались многочисленные обсуждения, споры и дискуссии, чтобы инженеры и ученые пришли, наконец, к выводу о том, что надежность — это отнюдь не надуманная характеристика системы, а ее неотъемлемое свойство, такое же реальное и объективное, как привычные вес, мощность, объем, коэффициент полезного действия. Это свойство не менее, а, может быть, более важное, чем привычные, традиционные. Ведь самая красивая, мощная и экономичная машина никому не нужна, если она часто бездействует из-за поломок, если ее нужно часто ремонтировать или заменять в ней какие-то узлы. Иногда даже автоматические, но ненадежные устройства гораздо менее рентабельны, чем неавтоматические, но надежные. На одном химическом комбинате для автоматического регулирования процесса применялся простой прибор — электроконтактный манометр. Стоил этот прибор 7 рублей 30 копеек, экономическая эффективность его внедрения оценивалась в 200 рублей. Однако тот прибор часто отказывал. Он отказывал в среднем шесть раз в месяц, и каждый отказ обходился предприятию в 300 рублей. Это привело к тому, что использование автоматического прибора оказалось невыгодным. Так именно ненадежность решила судьбу нового прибора.

Что же такое надежность?

## **НАДЕЖНОСТЬ — НОВЫЙ СМЫСЛ СТАРОГО СЛОВА**

Государственный стандарт определяет надежность как свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. При этом имеется в виду, что установленные эксплуатационные показатели сохраняются в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки. Тот же стандарт определяет и это понятие.

Наработка — это продолжительность или объем работы объекта, измеряемые в часах, километрах, гектарах, циклах, кубометрах или в других единицах.



Таким образом, мы приходим к довольно строгому и ясному определению понятия «надежность изделия». Например, что такое надежность трактора? Это его свойство выполнять свои функции при сохранении основных эксплуатационных показателей — мощности, производительности, расходе горючего и т. д., причем в течение определенного времени или, например, в процессе вспашки определенного количества гектаров. С помощью указанного в стандарте определения можно описать надежность любого другого технического изделия.

Но тут возникает другая проблема: если надежность — объективное свойство изделия, то ее можно как-то измерить? Измерить длину можно с помощью линейки, вес — с помощью весов. Единицы длины, веса, времени и многие другие имеют эталоны, при сравнении с которыми можно получить требуемые характеристики. А вот эталона надежности нет. Пока что еще не совсем ясно, как можно измерить надежность. С этой целью приходится вводить новые понятия — «отказ», «вероятность безотказной работы», «интенсивность отказов» и др.

Понятия об отказе и безотказности являются одними из основных в теории надежности. Обычно под безотказностью понимается свойство изделий сохранять работоспособность в течение определенного интервала времени. Отказ — это полная или частичная утрата изделием работоспособности. Само понятие отказа оказалось непростым. Для некоторых изделий, относительно несложных по конструкции, понятие отказа можно ввести совершенно четко. Например, электрическая лампочка или горит, или не горит, если у нее перегорел волосок. Однако уже для мало-мальски сложных изделий понятие отказа является весьма относительным. Если ваша электробритва бреет, но при этом сильно шумит, можно ли считать, что она отказала? Особенно ясно относительность понятия отказа видна на примере изделий радиоэлектроники. Если величина какого-то сопротивления в телевизоре изменится на несколько процентов, то, по-видимому, изображение несколько ухудшится. Ничего более страшного не произойдет. Такое же изменение величины сопротивления в более сложном устройстве может вызвать несравненно более серьезные последствия.

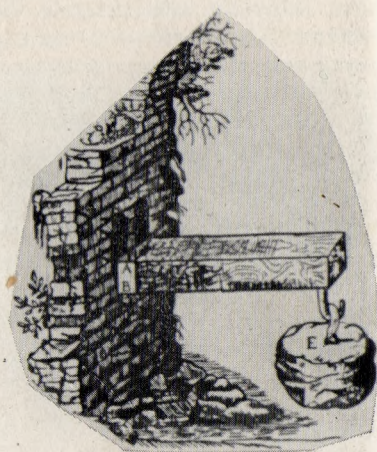
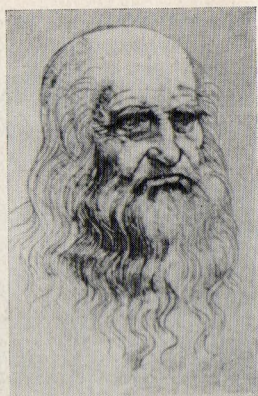
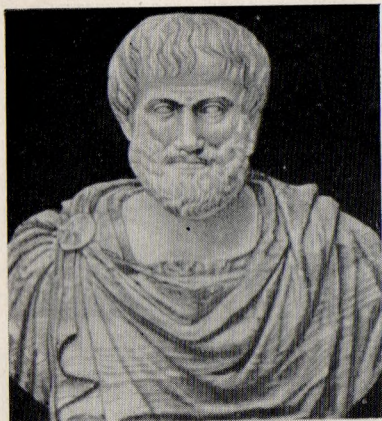
Нужно сказать, что довольно часто инженеры, обрацая основное внимание на совершенствование главных узлов изделия, упускают из виду, что причиной ненадежности и последующей аварии могут быть конструктивные узлы, носящие, казалось бы, второстепенный, вспомогательный характер. Обычно на высокую надежность рассчитываются именно основные узлы, основное оборудование. Например, в суперсовременном сверхзвуковом пассажирском реактивном самолете «Конкорд» англо-французского производства надежность основных бортовых систем выбрана таким образом, чтобы вероятность их отказа с неопасными последствиями составляла не более  $10^{-5}$ , вероятность опасных отказов — не более  $10^{-7}$ , а катастрофические поломки исчисляются вероятностью, меньшей  $10^{-9}$ . Таким образом, основное оборудование в самолетах, как правило, рассчитано на высокую надежность.

С другой стороны, можно вспомнить уже упоминавшуюся «Комету», причиной катастрофы которой явились нерационально выбранные очертания иллюминаторов (острые углы!). Еще одним примером невнимания к «деталям», повлекшего трагические последствия, может служить недавняя катастрофа близ Парижа одного из крупнейших современных самолетов ДС-10 фирмы «Макдоннел — Дуглас», принадлежащего турецким авиалиниям. Эксперты, расследовавшие причины этой катастрофы, пришли к выводу, что она произошла из-за разрушения не какого-либо основного узла самолета, а всего лишь двери грузового отсека.

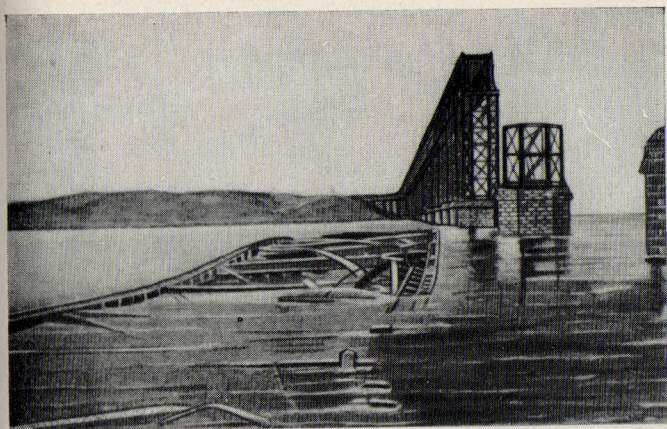
Удивительным в этой трагической истории представляется то, что это был уже отнюдь не первый случай неполадок с злополучной грузовой дверью. В июне 1972 года над Канадой у самолета ДС-10, на борту которого находилось 67 пассажиров, сорвало дверь левого хвостового грузового отсека. Внезапный перепад атмосферного давления между герметизированным пассажирским салоном и расположенным под ним грузовым отсеком вызвал коробление пола салона, которое привело к разрыву или поломке важных линий управления, идущих от пилотской кабины к хвосту самолета. Пилоту чудом удалось посадить самолет, у которого выключились хвостовые двигатели, практически отказали рули высоты, заклинился руль поворота.



- 
- Вавилонская башня в представлении П. Брейгеля
  - Раскопки зиккурата



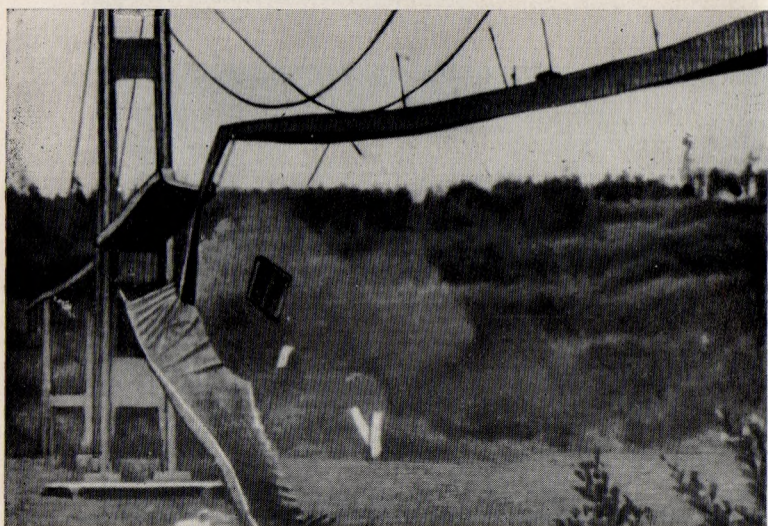
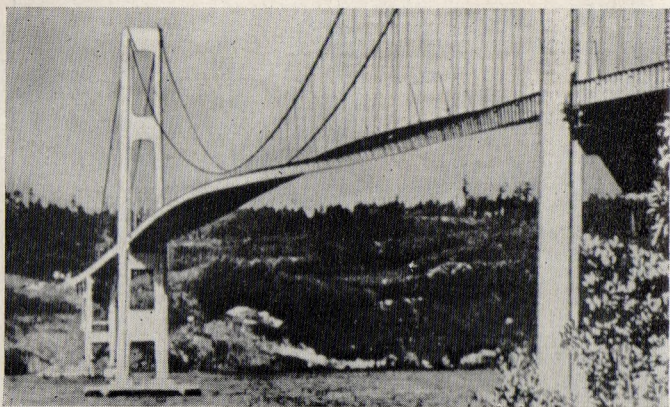
- 
- Скульптурный портрет Аристотеля (предположительно)
  - Леонардо да Винчи. Автопортрет
  - Галилео Галилей
  - Рисунок Галилея, иллюстрирующий испытание консольной балки



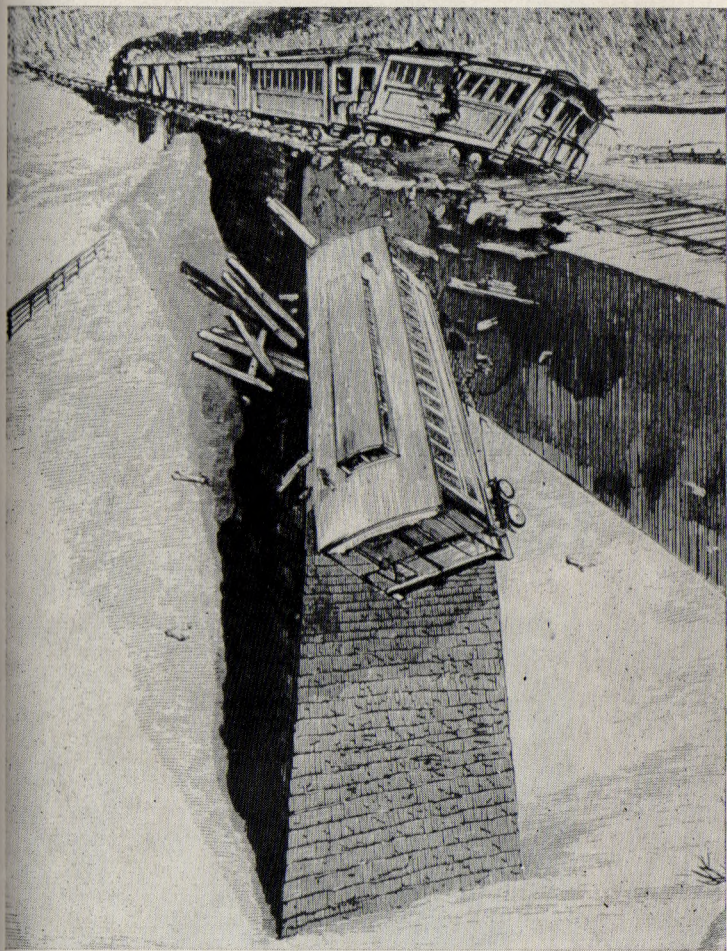
---

● Тэйский мост после катастрофы

● Взрыв гигантской морской пушки «Миротворец» (1884 год), побудивший американских ученых заняться пристальными исследованиями физики твердого тела



● Такоумский мост во время катастрофы



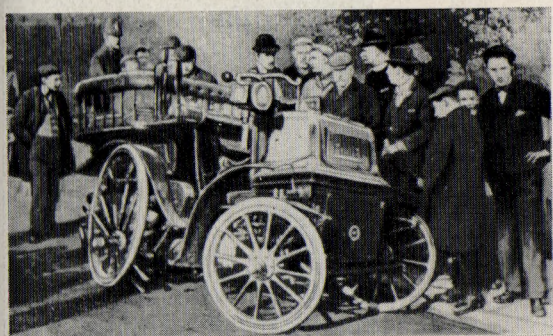
---

● Железнодорожная катастрофа в штате Нью-Йорк, произошедшая из-за несовершенства сигнальной и тормозной систем поезда. Одна из таких катастроф навела Вестингауза на мысль о необходимости разработки эффективного тормоза



- 
- Пожар на «Гинденбурге»
  - Крупнейший неядерный взрыв — взрываются... удобрения

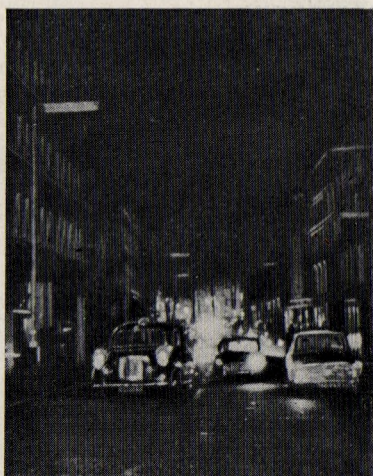




---

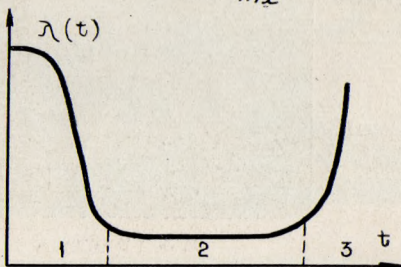
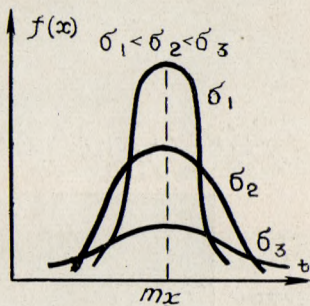
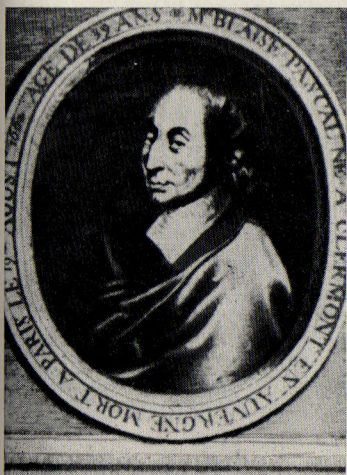
● Тонет расколовшийся надвое американский танкер. Анализ подобных кораблекрушений привел к новому пониманию прочности коробчатых балок

● Первая автомобильная авария — Англия, 1896 год. На крутом спуске лопнул обод колеса, что привело к гибели двух человек.

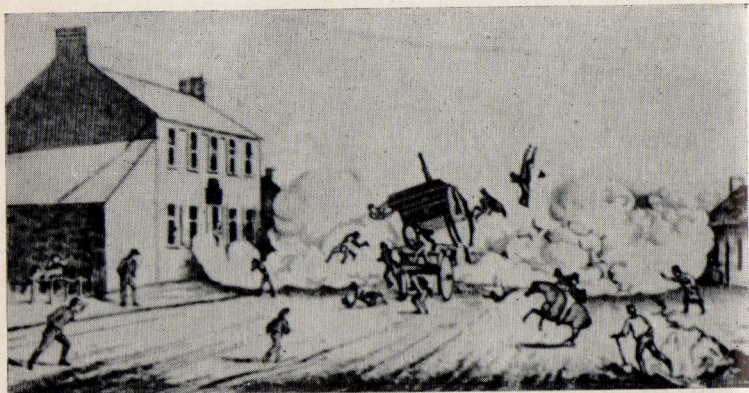


● Страница из газеты «Нью-Йорк таймс», извещающая о «катастрофе века» — аварии энергосистемы CANUSE

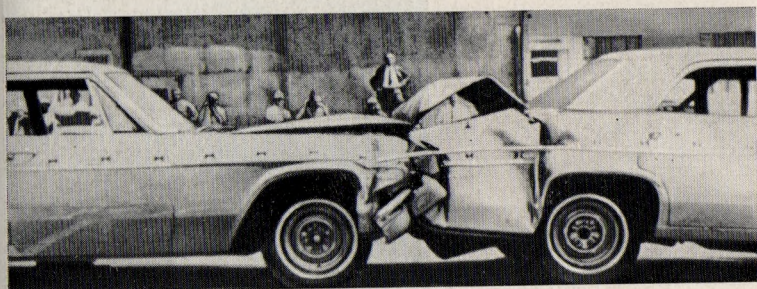
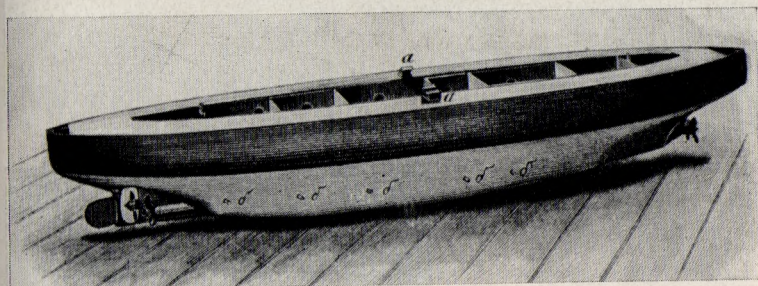
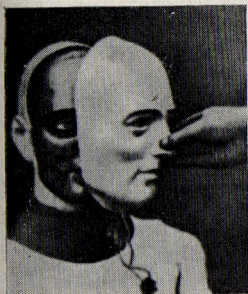
● Кромешная тьма в Нью-Йорке



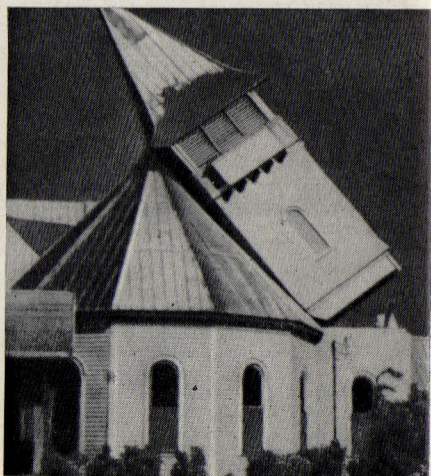
- Игра в кости. Рисунок XIII века
- Блез Паскаль
- Кривые нормального распределения
- Типичная кривая, характеризующая надежность изделия в зависимости от времени эксплуатации



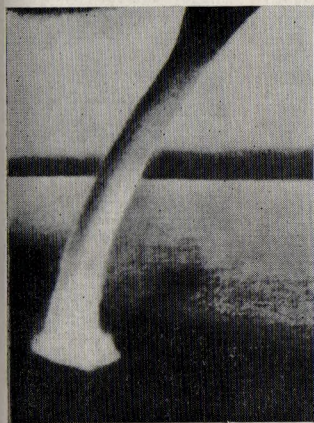
- 
- Взрыв парового экипажа. 1826 год
  - Посадка самолета Ил-18 с двумя отключенными двигателями



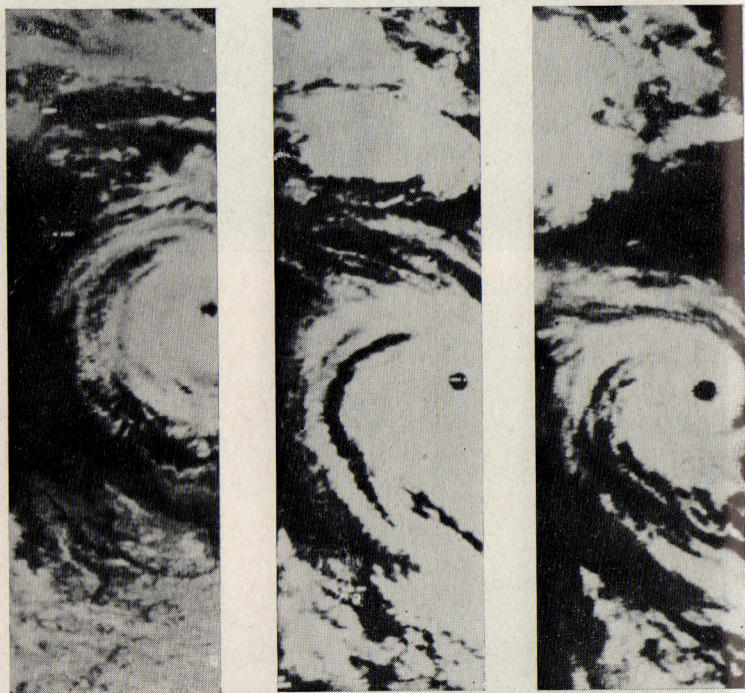
- 
- Манекен для моделирования автомобильных аварий
  - Модель корпуса ледокола «Ермак», выполненная адмиралом С. О. Макаровым
  - Испытание новых систем бамперов



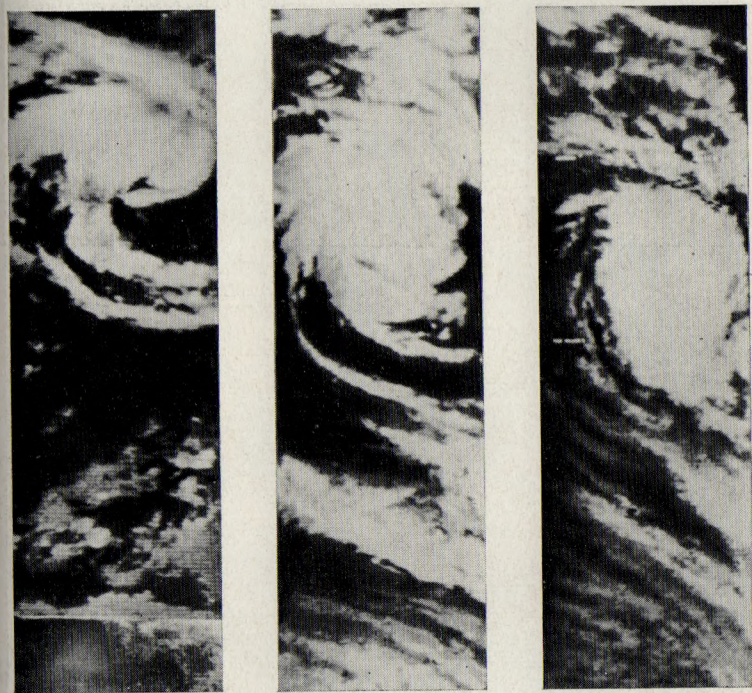
- 
- Последствия «мелкой» авиакатастрофы
  - Поваленная ураганом Донна башня церкви в Пунта-Горда (США, штат Флорида)



- 
- Смерч в азиатской степи (старинный рисунок)
  - Смерч в Адриатическом море (редкая фотография)

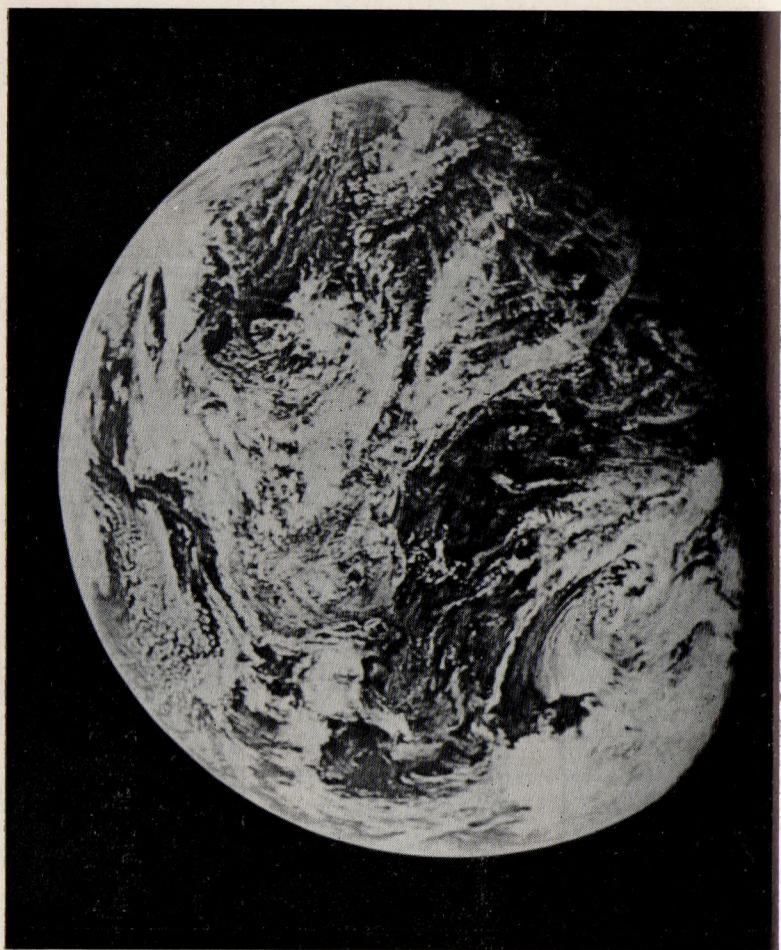


● Образование «глаза» урагана. Снимки сделаны  
Информация, полученная с борта спутника, помогает



автоматически с борта советского спутника «Метеор».  
предсказывать возникновение ураганов и их возмож-  
ное направление





---

● Облачный покров Земли. Снимок сделан с борта американского космического корабля

Анализируя подобные аварии с ДС-10, Национальное бюро безопасности полетов США рекомендовало фирме принять ряд мер по предотвращению на этих самолетах возможных аварийных ситуаций. Выяснилось, в частности, что опасные неполадки имелись на 48 самолетах типа ДС-10. В качестве одной из мер безопасности бюро рекомендовало ввести существенные изменения в конструкцию грузовой двери, используя систему так называемой «замкнутой петли», гарантирующей от внезапного открывания или сноса двери. Такие изменения конструкции сразу же стали проводиться в жизнь. А вот на самолете, разбившемся во Франции, из-за какой-то фантастической халатности такие изменения в конструкции дверей проведены не были. После катастрофы все 130 самолетов ДС-10 были сняты с линий и подверглись существенным переделкам.

Несмотря на свою относительность, понятие отказа является очень полезной и весьма содержательной характеристикой. С его помощью можно вводить различные численные показатели надежности.

Отказы можно разделить на внезапные и постепенные. Изделие может ухудшаться постепенно, стареть. У телевизора постепенно ухудшается изображение — это стареет, изнашивается кинескоп. Автомобиль уже не может развить необходимую скорость — у него износился двигатель. Но, кроме таких постепенных отказов, случаются и внезапные. Они часто имеют катастрофический характер. В большинстве случаев они происходят из-за неожиданно резкого изменения условий работы. Понятия «внезапного» или «постепенного» отказа тоже весьма относительны. Когда перегорает электрическая лампочка, нам всегда кажется, что это произошло внезапно. Но если в сети не было резких колебаний напряжения, внезапному сгоранию волоска, по-видимому, предшествовали какие-то постепенные изменения его структуры.

Еще одним исключительно важным понятием теории надежности является долговечность. Под долговечностью изделия понимают его способность к длительной работе при необходимом техническом обслуживании, в которое могут входить и ремонты, и замены деталей, и дополнительные настройки и регулировки, и еще многие другие операции. А в конце срока, опреде-

ляющего долговечность, в изделии проявляются такие изменения, после которых восстановить его либо невозможно, либо экономически нецелесообразно (тот же пример с электрической лампочкой — восстановить сгоревший волосок, конечно, можно, но, право же, гораздо дешевле и проще взять новую лампочку!). Долговечность характеризуется либо временем работы изделия, либо числом рабочих циклов, либо объемом проделанной работы. Для некоторых изделий понятия долговечности и безотказности могут совпадать. Но, вообще говоря, это понятия разные. К сожалению, их часто путают, считая, что, чем долговечнее изделие, тем оно надежнее. Как правило, это совсем не так. Радиоприемник — долговечное изделие, его можно восстанавливать, но отказывает он довольно часто. Его безотказность мала. В то же время капсюль патрона — изделие, «эксплуатирующееся» тысячные доли секунды, имеет очень высокую безотказность.

Для тех изделий, работоспособность которых может быть восстановлена в результате ремонта, очень важным показателем надежности является ремонтпригодность.

При конструировании любого изделия необходимо задуматься над тем, что его, наверное, придется ремонтировать. Но думают об этом, к сожалению, не всегда. Вот что пишет о ремонтпригодности советский ученый С. И. Браудо: «Отсутствие возможности быстро и эффективно восстановить работоспособность отказавшей радиолокационной станции, особенно во время выполнения основной задачи, сводит на нет любые, даже самые высокие, тактико-технические показатели станции. Поэтому фактически надежность радиолокационных станций длительного использования определяется не только простым снижением числа отказов, но и повышением быстроты отыскания неисправностей, определения вызвавших их причин, установления местонахождения неисправности и обеспечения соответствующего ремонта».

Ремонтпригодность — свойство изделия, заключающееся в его приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей. Ремонтпригодность характеризуется затратами труда, времени и средств на ремонтные работы. А средства на них затрачиваются весьма немалые. В СССР, напри-

мер, ежегодно расходуется на ремонт основных средств производства более 7 миллиардов рублей. В ремонтных службах занято более 2 миллионов человек. Современные изделия проектируются с учетом того, насколько легко и быстро может быть устранена неисправность. Все чаще применяется блочный метод проектирования изделий, когда при ремонте легко удаляется целый неисправный блок. Все больше появляется изделий, которые специально рассчитаны на износ и замену целого узла, а потому не требуют расходов на ремонт. В США, например, появился в продаже роторный двигатель внутреннего сгорания с необычным названием «отмирающий ротор». В отличие от всех других двигателей «отмирающий ротор» не требует ремонта: после 500-часовой эксплуатации его попросту выбрасывают и заменяют новым. Так выгоднее!

Но еще выгоднее разрабатывать самовосстанавливающиеся узлы. Живая природа давно решила проблему надежности и самовосстановления. Человеческий организм исправно работает в среднем около 70 лет. Среднее время жизни клетки сравнительно мало, но на место износившейся клетки автоматически встает другая. Суставы человека и животных (с точки зрения инженера — шарниры и подшипники скольжения) не изнашиваются и даже самозалечиваются, в них происходит устранение мелких царапин и других повреждений.

Но это все происходит в живой природе. А в технике, в машинах, созданных человеком, самовосстановления еще недавно не существовало вовсе. Во всех механических устройствах присутствовало традиционное и крайне невыгодное сочетание — трение и износ. Борясь с этим бичом машин, московские ученые доктора технических наук Д. Н. Гаркунов и И. В. Крагельский совершили замечательное открытие.

Как-то авиаторы прислали на исследование в лабораторию большое металлическое кольцо — буксу самолетного шасси. Эта деталь у самолета очень быстро стирается. Как за ней ни ухаживали, чем бы ни смазывали, ничто не помогало — больше месяца буксу эксплуатировать не могли из-за износа. В лаборатории решили заменить материал буксы и отлили ее из бронзы. Тут произошла удивительная вещь — износ прекратился вовсе. Ученые заинтересовались этим яв-

нием, изучили его и спустя некоторое время выяснили причину этого странного явления. Оказалось, что при некоторых условиях возможно создать на поверхности деталей тончайшие металлические покрытия, которые все время мигрируют, переходят с одной трущейся детали на другую, работающую с ней в паре. Это «вечное движение» и устраняет износ. «Чудо» происходит за счет определенных свойств смазки в трущейся паре сталь — бронза. Глицерин действует как слабая кислота, он протравливает поверхность бронзы, которая постепенно покрывается рыхлым слоем чистой меди. Атомы меди при трении легко переносятся на стальную поверхность. Как только слой меди на стали достигнет определенной толщины, медь попадает обратно на бронзу. Износа практически нет, и процесс может продолжаться неограниченно долго.

Объяснять всю важность этого открытия нет нужды. Достаточно заметить, что повышение износостойкости машин в 2—3 раза сулит народному хозяйству 5—6 миллиардов рублей экономии каждый год. В некоторых же опытах с использованием эффекта атомарного переноса удалось снизить износ трущихся деталей в 300 раз! По мнению ученых, в скором будущем самовосстанавливающиеся узлы трения будут работать во всех механических устройствах.

Аналогов такого открытия в других областях техники пока нет. Но уже есть электронные вычислительные машины, которые сами указывают, какой узел у них поврежден. Ученые работают и над «саморемонтирующимися» машинами, которые сами заменяют поврежденный элемент. Уже есть электромоторы, меняющие окраску при аварии, что облегчает их поиск и быструю замену в очень сложной системе, составленной из тысяч элементов. Словом, мысль ученых и инженеров постоянно направлена на решение проблемы ремонтпригодности изделий.

Итак, понятие надежности более подробно раскрывается совокупностью трех понятий: безотказности, долговечности и ремонтпригодности. Но это все в самом общем виде. Если же попытаться ввести количественные показатели надежности, то мы неизбежно приходим к необходимости использовать вероятностную трактовку таких показателей.

Американский поэт, писатель и ученый XIX века

Оливер Холмс написал когда-то стихотворение под названием «Шедевр дьякона, или Замечательная одноколная коляска». В нем говорится о дьяконе, который построил коляску, замечательную тем, что все ее части имели абсолютно одинаковую прочность. Эта коляска прослужила ровно 100 лет и под конец развалилась прямо на дороге. Все детали сломались одновременно — на дороге осталась лишь грудa обломков. Изделие, которое разрушалось бы таким образом, причем в указанное заранее время, — мечта инженера. Но в отличие от мастеровитого дьякона нам построить такие изделия еще, к сожалению, не удастся — реальные изделия отказывают случайным образом и в случайное время. Значит, чтобы измерить, оценить надежность, необходимо использовать аппарат, который описывал бы случайные события и случайные процессы. Такой аппарат есть — это теория вероятностей и родственные ей математические дисциплины. Отрасль математики, имевшая когда-то твердую репутацию «игры ума», стала одним из основных инструментов инженера, а понятия, введенные еще Гюйгенсом, оказались удивительно к месту в современной практике. За количественный показатель надежности принята вероятность безотказной работы изделия в течение заданного промежутка времени. Вероятность безотказной работы — это вероятность того, что в данном интервале времени или в пределах заданной наработки не произойдет отказа изделия.

С введением этого понятия появляется возможность измерять надежность и сравнивать изделия по этому показателю. Действительно, совершенно ясно, что при прочих равных условиях изделие, имеющее вероятность безотказной работы 0,9, лучше, чем изделие, имеющее вероятность безотказной работы 0,8.

Вероятность безотказной работы одного и того же изделия неодинакова в разные моменты его эксплуатации. Стиральная машина, которая проработала год, по-видимому, более надежна, чем та, которая проработала десять лет. Вероятность того, что она испортится в ближайшее время, очевидно, меньше. Таким образом, можно ввести еще один количественный показатель надежности — интенсивность отказов. Интенсивность отказов — это вероятность отказа изделия в единицу времени после данного момента времени при

условии, что отказ до этого момента не возник. Другими словами, интенсивность отказов некоторым образом определяет, сколько еще может проработать изделие, если оно до сих пор не отказало.

Интенсивность отказов — логически довольно сложное понятие, но разобраться в его смысле можно на одном довольно простом примере. Оказывается, задолго до возникновения теории надежности совершенно аналогичным понятием пользовались страховые компании.

Если взглянуть на таблицу страховых платежей, то сразу же бросится в глаза одна ее особенность: неравномерность, неравенство страховых взносов для разных возрастных групп. Больше всего приходится платить при страховке маленьких детей и пожилых людей. А это означает, что страховые организации, не вводя понятий теории надежности, пользуются при расчете страховых платежей некоторой «интенсивностью» отказов. Ведь показатели смертности — это есть в каком-то смысле и показатели «вероятности безотказной работы» человеческого организма. Детская смертность, как правило, выше, чем смертность людей среднего возраста. После достижения пожилого возраста смертность тоже повышается. Соответственно меняется и вероятность прожить следующие, скажем, 5 лет: понятно, что у человека в возрасте 30 лет она выше, чем у семидесятилетнего. Вот и приходится им платить разные суммы. Этим страховые компании гарантируют себя от банкротства.

Вернемся к технике. Если изделие только что изготовлено, то даже при тщательном контроле в нем могут остаться какие-то незамеченные дефекты, детали с маленьким запасом прочности. Конечно, можно все больше и больше ужесточать контроль, все более совершенствовать (и стало быть, удорожать!) средства контроля, все больше и больше отбраковывать изделий еще на заводе, где они изготавливаются, но это не всегда экономически целесообразно. Заводу в конечном итоге выгоднее ввести гарантийный срок, в течение которого он обязуется заменять дефектные изделия. При этом изготовитель, конечно, идет на некоторые дополнительные расходы. Тут уже экономисты должны подсчитать, что выгоднее — ужесточать контроль или производить гарантийный ремонт. Конечно, все эти рассуждения не

относятся к тем случаям, когда по соображениям безопасности или высокой ответственности функций, выполняемых изделием, никакие отказы ни в каком периоде эксплуатации недопустимы. Здесь уже экономика отходит на второй план — заводские испытания продолжаются до тех пор, пока не будут устранены малейшие дефекты в изделиях.

Вот как, например, отбирались детали для американского радиорелейного спутника «Телстар». Полупроводниковые приборы были взяты в десятикратном количестве, подвергнуты испытаниям, и те из них, которые обнаружили малейшие отклонения по любому из параметров, отсортировывались. Детали, отобранные для монтажа аппаратуры, запечатывались в специально очищенную упаковку. Для очистки помещения, где производилась сборка аппаратуры, было затрачено три месяца, и количество пылинок в одном кубометре воздуха было сведено до десятков. Для сравнения — в нормально чистом помещении число пылинок составляет 400 тысяч на каждый кубометр воздуха. Но, повторяем, все эти экстраординарные меры применяются только в том случае, когда отказы изделия в эксплуатации совершенно недопустимы.

Если же речь идет о «нормальных» изделиях, в них, конечно, могут остаться мелкие дефекты. Когда изделия начинают эксплуатироваться, эти дефекты постепенно выявляются. Изделие проходит гарантийный ремонт, дефектную деталь или узел заменяют. За какое-то время все эти «пропущенные» дефекты обнаружат себя, и интенсивность отказов, которая сразу после выпуска изделия заводом была более высокой, снизится. В самом начале работы изделия вероятность его отказа более высока, но чем больше работает изделие, тем меньше шансов на то, что в нем остался еще обнаруженный дефект. Период эксплуатации изделия, характеризующийся повышенной интенсивностью отказов, уменьшающейся в процессе эксплуатации, называется периодом приработки.

Через какое-то время, которое зависит от вида изделий и от того, насколько тщательным был контроль при изготовлении, период приработки заканчивается. Отказы становятся редкими и вызываются, как правило, какими-то случайными причинами. Интенсивность отказов уменьшается и становится постоянной, то есть



в равные промежутки времени отказывает примерно равное количество деталей. Наступает самый продолжительный период работы изделия — период нормальной эксплуатации.

Но в эксплуатирующемся изделии постепенно происходят необратимые изменения. Электронные лампы теряют эмиссию, меняют свои характеристики полупроводниковые приборы, срабатываются и чаще заклинают трущиеся детали — изделие начинает стариться. Чем больше изделие состарилось, тем большей становится скорость этого старения. Это связано с тем, что неправильная работа одной детали, одного узла приводит к ухудшению условий работы других узлов и деталей, которые, в свою очередь, тоже начинают отказывать. Начинается период катастрофического износа. Теперь уже изделие эксплуатировать нельзя, его нужно или выбрасывать, или капитально ремонтировать. Очень образное, предельно лаконичное и точное описание этого процесса дал Карл Маркс:

«Повреждения, которым подвержены отдельные части машин и т. д., по природе своей случайны, а потому так же случаен и обусловливаемый ими ремонт. Однако из массы этих ремонтных работ выделяются два вида, которые имеют более или менее постоянный характер и приходится на различные периоды жизни основного капитала: болезни детства и несравненно более многочисленные болезни возраста, вышедшего за пределы средней продолжительности жизни. Например, какой бы совершенной конструкции машина ни вступила в процесс производства, при ее употреблении на практике обнаруживаются недостатки, которые приходится исправлять дополнительным трудом. С другой стороны, чем больше вышла она за предел своего среднего возраста, следовательно, чем больше сказывается действие нормального изнашивания, чем более изношен и старчески ослаб материал, из которого она сделана, тем многочисленнее и значительнее становятся ремонтные работы, необходимые для того, чтобы поддержать существование машины до конца периода средней продолжительности ее жизни; совершенно так же старому человеку, чтобы не умереть преждевременно, приходится делать больше расходов на медицинскую помощь, чем человеку, полному юношеских сил».

Так «протекает жизнь» практически всех промышленных изделий — от железнодорожного моста до карманного фонарика. Разница лишь в том, какое место в «жизни» изделия занимает тот или иной период. Наглядно весь процесс эксплуатации изделия описывается кривой надежности.

Возьмем прямоугольную систему координат и по горизонтальной оси будем откладывать время эксплуатации изделия, а по вертикальной — интенсивность отказов (в технической литературе она обычно обозначается греческой буквой  $\lambda$  (лямбда)). Тогда кривая надежности будет иметь v-образную форму: повышенная интенсивность отказов в начале эксплуатации (период приработки), почти горизонтальная прямая в период нормальной эксплуатации, и, наконец, резкий рост интенсивности отказов в период катастрофического износа. Из этой кривой ясно видна задача ученых и инженеров: по возможности сократить период приработки и отодвинуть подальше от начала координат начало периода катастрофического износа, то есть добиться того, чтобы период нормальной эксплуатации продолжался как можно дольше. Это всегда выгодно и с технической и с экономической точки зрения. Конечно, повышение надежности, как правило, не дается даром, оно требует довольно больших затрат, но эти затраты обычно быстро окупаются.

Американские экономисты подсчитали, например, что для увеличения времени работ комплекта приемно-передающей радиоаппаратуры между отказами на 100 часов потребуется затратить 1,5 миллиона долларов. Но если эти средства затратить, то стоимость эксплуатации имеющихся в наличии 3 тысяч комплектов такой аппаратуры снизится на 7,5 миллионов долларов, то есть экономия в 5 раз превзойдет затраты на повышение надежности.

...Как далеко шагнула за последние годы наука о надежности, можно судить по следующему, на наш взгляд, интересному историческому сопоставлению.

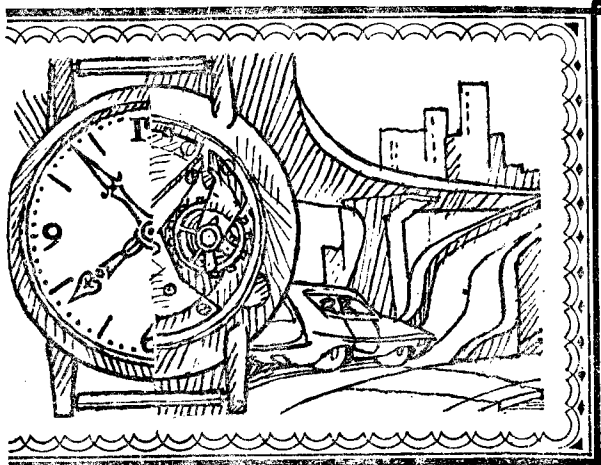
Вторая половина XIX века была кульминацией «парового века». Стремительно росло во всем мире количество паровых котлов. По современным понятиям это были маломощные, несовершенные устройства. Тем не менее в 1905 году в Соединенных Штатах произошло

450 взрывов котлов, при которых было убито 383 человека и ранено 585.

Работая над увеличением надежности котлов, инженеры тех лет шли по пути непомерного завышения имеющихся запасов прочности, на утяжеление и удорожание паровых машин. Но и этого оказывалось мало. Американское общество страхования от взрывов котлов (пришлось такое организовать) указывало в своем отчете, что на 1 января 1906 года в 3 595 171 паровом котле, осмотренном агентами общества, оказалось 2 569 127 неисправностей, из которых 272 033 были признаны особо опасными.

Шли годы, и на смену котлу паровому пришел «атомный котел», устройство, несопоставимо более сложное и потенциально неизмеримо более опасное, чем его предшественник. «Атомный котел», атомный реактор, являющийся источником силы многих наших электростанций, кораблей и подводных лодок, стал тем не менее необычайно надежным элементом установки в целом. Практически не зарегистрировано ни одной особо опасной аварии атомных котлов. Это прямая заслуга более развитой в наше время науки о надежности.

Эксперты комиссии по атомной энергии США произвели расчет возможности аварий на 100 атомных электростанциях с реакторами, охлаждаемыми кипящей водой под давлением. Такое количество электростанций, как предполагается, будет работать в Соединенных Штатах к 1980 году. При изучении вероятности и последствий 12 гипотетических аварий было обнаружено, что другие виды аварий — самолетов, автомобилей и т. п. происходят значительно чаще, чем даже самые незначительные аварии на атомных электростанциях. Вероятность тысячи и более смертельных случаев из-за крупных аварий на 100 атомных электростанциях Америки 1980 года равна приблизительно  $10^{-6}$ . Это означает, что такая авария возможна не чаще, чем один раз в миллион лет. Вероятность смертельных исходов от пожаров в 1000 раз, при авариях самолетов — в 5000 раз, при землетрясениях — в 20 000 раз, при ураганах — в 40 000 раз выше. Аварии с убытком свыше 100 миллионов долларов могут случиться на всех этих атомных электростанциях не чаще раза в 500 лет. А обычные пожары наносят убытки такого масштаба каждые два года.



## КАТАСТРОФ НЕ БУДЕТ

Всякая последовательно развивающаяся наука только потому и растет, что она нужна человеческому обществу.

*Академик С. И. Вавилов*

*Воссоединившись, математическая теория и инженерная практика привели к необычайно плодотворному синтезу: практическому применению теории надежности. Наука о надежности оказывается чрезвычайно сложной по структуре, включает в себя множество проблем и методов из смежных наук: физики, химии, инженерного дела. Порой трудно уже сказать, где начинается и где кончается наука о надежности. Во всяком случае становится ясно, что математической теорией надежности дело не ограничивается.*

## ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ

Теперь, когда мы ввели целый ряд понятий, которыми описывается такое объективное свойство изделий, как надежность, можем вернуться к поставленному ранее вопросу: как измерить надежность? Как определить вероятность безотказной работы, интенсивность отказов? Ведь без измерения надежности нельзя говорить о ее повышении.

При определении надежности изделий возник целый ряд очень больших трудностей. Дело в том, что количественные показатели надежности — это величины вероятностные, описывающие случайные события (ведь отказ — случайное событие!).

Как же «поймать» случай?

Начнем с того, что попытаемся выявить разницу между испытаниями устройств и материалов в прежние времена и исследованием надежности технических изделий сейчас.

Инженерный обычай проверять перед использованием качество применяемых материалов и в XX веке остается в чести.

Первый письменный документ об испытании материалов относится к весьма отдаленным временам — он датирован 4 июня 1662 года:

«Сэр Баттен, Повей и я поплыли в Вулвич, где были свидетелями испытаний голландской пряжи сэра Форда (в последнее время этот вопрос очень беспокоил нас, я сам подумывал о мистере Нью, который постав-

лял нам канаты и, судя по всему, не справлялся с делом). И действительно, канаты были очень плохими: испытания показали, что пять таких прядей рвутся быстрее, чем четыре нити рижской пряжи. Кроме того, отдельные веревки оказались явно старым хламом, вымазанным дегтем, лишь сверху они были покрыты новой пенькой. Все это походило на неслыханное жульничество».

А вот как выглядело испытание досок для судов в Новой Шотландии через 250 лет:

«Прежде чем приладить какую-нибудь доску, Мак Альпин, Том и всякий, кто бывал рядом с ними, долго совещались. Сначала они очень внимательно ее разглядывали, затем гнули, постукивали, прислушивались, и могу поклясться — я видел однажды, как Мак Альпин дегустировал доску. Во всяком случае он лизнул древесину, а затем повторил все движения опытного дегустатора чая — вплоть до последнего ловкого плевка сквозь стиснутые зубы — все было проделано с видимым наслаждением».

И действительно, есть какие-то неуловимые признаки, по которым опытный эксперт может определить качество древесины точно так же, как дегустатор качество кофе, чая или аромат духов. Но все-таки и раньше и сейчас чаще всего применяются так сказать «испытания в лоб»: если нужно узнать прочность на разрыв, образец разрывают, если неизвестна прочность на изгиб — образец изгибают, и т. п. Нечего и говорить о том, что техника и методика этих испытаний со времен Галилея серьезно продвинулись вперед. К услугам исследователей гидравлические прессы с усилием в сотни тонн. Для более тонких структурных исследований используют электронные микроскопы и другое сложное оборудование.

Характерным свойством всех этих испытаний является их полная определенность. Каждый материал имеет, например, строго определенный предел прочности. Здесь нет и речи о случае, о том случае, который составляет сердцевину испытаний надежности.

Первые попытки определить надежность каких-либо изделий сводились к наблюдениям за их эксплуатацией. Бралась под надзор сотня, а иногда и тысячи изделий, фиксировались их отказы, а затем вычисля-

лись показатели надежности. Однако довольно быстро выяснилось несовершенство этого метода. Действительно, если мы имеем дело с достаточно надежными устройствами, то иногда, чтобы вычислить надежность, приходится очень долго ждать наступления отказов. Кроме того, конструктор хочет знать, насколько надежно созданное им изделие, не после того, как его выпустили «в свет», а до этого момента. В этом случае он имеет возможность устройство должным образом усовершенствовать.

Метод определения надежности, о котором мы только что говорили, такой возможности не предоставлял. Полученная при его помощи информация о надежности очень запаздывала и могла быть использована только при разработке следующих изделий.

Инженеры занялись поиском средств определения надежности путем проведения специальных испытаний. Наблюдения за эксплуатацией изделий, конечно, и до сих пор не потеряли своего значения, но проводятся они уже с другой целью — проверить правильность тех методов испытаний, которыми определялась надежность.

Надежность стали определять путем использования специальных новых методов.

Раньше испытание сводилось к выявлению соответствия рабочих характеристик изделия проектным. Понятно, что эти испытания были одноразовыми, кратковременными. Они отвечали на вопрос, правильные ли технические решения заложены конструкторами? Это совершенно необходимо знать во всех отраслях техники. Но при определении надежности вопрос формулируется по-другому: как долго будет работать изделие? Через сколько времени после начала эксплуатации изделие начнет отказывать и как часто будут происходить отказы? Разумеется, при кратковременных испытаниях на эти вопросы получить ответы нельзя. Поэтому-то и понадобились новые методы испытаний. Эти испытания должны были быть длительными; при этих испытаниях изделия должны были долго работать во всех возможных режимах. И таких методов испытаний сейчас разработано очень много.

При новом подходе к исследованиям выяснились новые стороны явлений. Например, оказалось, что сильный шум, создаваемый выхлопной струей реактив-



ного двигателя, вызывает вибрацию некоторых элементов конструкции самолета, его обшивки. От этого со временем возникает «усталость металла», изменяется прочность, появляются трещины. Когда это выяснили, в лабораториях были разработаны методы уменьшения воздействия звука на конструкцию.

А при длительных испытаниях миниатюрных радиоэлектронных схем исследователи столкнулись с другим любопытным фактом: как бы тщательно ни изготовлялось микроизделие, в нем часто возникали короткие замыкания, причем тем чаще, чем меньше изделие. Когда исследователи посмотрели на эти изделия в мощный микроскоп, то, к всеобщему удивлению, удалось обнаружить у металла «прическу». На поверхности металла выростали «волоски» толщиной 2—3 микрона и длиной 200—300 микрон, которые и вызывали короткие замыкания. Пришлось искать специальные методы изготовления микросхем, при которых рост этих волосков прекращался.

Длительные испытания изделий и их элементов вошли со временем в повседневную практику. Были созданы и успешно функционируют целые лаборатории и цехи испытаний. Но методы длительных испытаний не оказались панацеей. Выявилось их несовершенство по крайней мере в двух отношениях. Многие изделия работают хорошо и исправно, пока эксплуатация их протекает нормально. Опасными для них являются перегрузочные и аварийные режимы. Но аварийные режимы возникают редко и при длительных испытаниях ждать их возникновения можно очень долго. Приходится идти по пути моделирования перегрузок и аварий. Пусть, например, известно, что максимальные нагрузки на самолет действуют в периоды взлета и посадки. Нормальный рейсовый самолет летит из Москвы в Томск без промежуточной остановки, то есть один раз взлетает и один раз садится. Экспериментальный же самолет, который испытывается в таком рейсе, снизится и вновь наберет высоту несколько раз, то есть выполнит с точки зрения перегрузок много рейсов. За несколько таких полетов он может «использовать» весь свой запас прочности, и исследователи установят, какова долговечность самолета, сколько рейсов он сможет сделать до того, как начнет износ. Широко используется и практика введения

так называемых самолетов-«лидеров». Это обычные серийные самолеты, но значительно опережающие по износу, по количеству часов, проведенных в воздухе, по количеству взлетов и посадок своих «собратьев». Моделируются и аварийные ситуации. Опытные пилоты-испытатели ведут самолет со специально выключенными двигателями, изучая поведение его при отказе моторов. Данные этих испытаний потом используются и конструкторами, и пилотами Аэрофлота.

Вопросы обеспечения надежности настолько глубоко проникли в плоть и кровь сложного организма современной системы воздушных сообщений, что для человека шанс погибнуть в авиакатастрофе значительно ниже шанса разбиться при аварии собственного автомобиля. То, что списки жертв авиакатастроф кажутся громадными, объясняется психологическими и социальными причинами. Полная беспомощность человека, взлетевшего в воздух, вверившего себя пилоту, драматичность, сенсационность, с которой часто подаются описания авиакатастроф зарубежными газетчиками,— вот причины этого «психологического обмана» (по аналогии с «оптическим обманом»).

Беспристрастная статистика показывает, что в мире ежегодно разбивается 2500 человек по сравнению с 250 000 человек, погибающими в этот же период на автострадах.

Как повторяется история! Как похожи в некоторых отношениях люди разных эпох! В книге «Чудеса техники», выпущенной под редакцией В. В. Рюмина в 1911 году, мы встречаем следующее высказывание относительно мнимых опасностей получившего в те годы большое распространение железнодорожного сообщения:

«Известие о какой-либо крупной железнодорожной катастрофе вызывает в публике и повседневной печати бурю негодования и крики об опасностях железнодорожного движения. Да, железнодорожных катастроф все еще не удастся избежать в некоторых случаях, и они время от времени уносят десятки человеческих жизней, но непристрастная статистика, суммируя отдельные, незаметные для читателей газет, случаи несчастий, сопровождающие езду в повозках, запряженных лошадьми, указывает, что последний способ передвижения в несколько раз опаснее езды по железным

дорогам, не имея ни дешевизны, ни быстроты последнего. Какой-нибудь скромный кондуктор, делающий за год от 75 000 до 150 000 верст, вряд ли остался бы цел и невредим, если бы ему пришлось совершить такой путь на лошадях. И в этом случае уместно будет указать, что не одна техника виновата бывает в катастрофах. Роль человека, его характер, воспитание и отношение к делу имеют далеко не последнее значение».

Наиболее опасными моментами полета на самолете являются взлет и посадка. Во время авиакатастроф многие погибают вовсе не от удара, а от дыма и огня при пожаре. 11 ноября 1965 года в американском городе Солт-Лейк-Сити совершил аварийную посадку реактивный воздушный лайнер. Несмотря на сильный удар о землю, все 90 пассажиров могли остаться в живых. Однако 43 из них погибли от дыма и огня, потому что не смогли быстро покинуть загоревшийся самолет. Из-за взрыва одного из двигателей сгорел на взлетной полосе аэропорта Анкоридж (на Аляске) самолет ДС-863, имевший на борту 229 пассажиров и 10 членов экипажа. Для предотвращения таких страшных катастроф конструкторы разрабатывают специальные средства эвакуации пассажиров, с тем, чтобы при пожаре они могли бы за считанные минуты покинуть самолет. Разрабатываются специальные средства, способные предохранить пассажиров, если самолет загорится. Уже прошла испытания специальная огнетушащая пена, которая при пожаре защищает пассажиров в течение 6—10 минут. Этого времени достаточно или для эвакуации пассажиров, или для ликвидации пожара.

Иногда моделью для испытаний становится целый высотный дом. Вот как, например, проходила испытания автоматизированная система противодымной защиты высотных зданий в одном из районов Киева.

Вблизи семнадцатэтажного дома собралась огромная толпа, а возле самого дома энергично действовали пожарные. Они держали наготове пожарные рукава, но не пускали воду, несмотря на то, что в одном из окон второго этажа были видны языки пламени. В толпе не могли понять, почему не тушат пожар. Но прохожие, видимо, еще больше удивились бы, если бы узнали, что этот пожар был специально «организован».

Больше месяца шла подготовка к этому уникальному эксперименту. В сотнях точек огромного дома были установлены тепловые и дымовые датчики, самописцы, электронные приборы, которые с большой точностью измеряли температуру и другие величины даже в самом «пекле» пожара. И только после окончания эксперимента пожар был быстро ликвидирован. Эксперимент показал высокую точность и надежность противопожарной автоматики, способной работать в аварийных ситуациях.

При моделировании катастроф в лаборатории итальянской фирмы «Фиат» ежегодно гибнет 500 автомашин. Они гибнут, указывая на свои слабые места. На основании результатов испытаний инженеры фирмы усиливают элементы конструкций и находят их оптимальные варианты. Особое внимание уделяется прочности кузова и устройствам, обеспечивающим безопасность.

Моделирование аварийных ситуаций позволяет оценивать надежность изделий и тем самым устранить некоторые недостатки длительных испытаний на надежность.

Интересно, что аварийной может оказаться именно нормальная ситуация. Речь идет сейчас о весьма частой у конструкторов неправильной оценке условий эксплуатации, о пренебрежении этим фактором в процессе испытаний. В лаборатории все может действовать очень хорошо, а на практике...

В последние годы для работы на боевом корабле был создан специальный радиолокатор. Специалисты долго трудились над его конструкцией, провели множество испытаний на надежность и, наконец, довели время его работы до 1650 часов, что было вполне достаточно. Но потом из лаборатории радиолокатор перенесли на корабль. А там он подвергся воздействию качки, тряски, сырости и т. п. Радиолокатор перестал работать всего через 18 часов. Пришлось разрабатывать его конструкцию чуть ли не заново. Так недоучет условий эксплуатации привел к громадным потерям.

Испытаниям на надежность уделяется сегодня небывалое внимание, их методы становятся все тоньше и сложнее. Но это — методы. А сам принцип существует уже столетия. Приведем здесь заимствован-

ный нами из одной популярной книги довольно колоритный приказ Петра I, непосредственно относящийся к проблеме испытаний на надежность.

*«...Повелеваю хозяина Тульской оружейной фабрики Корнилу Белоглаза бить кнутом и сослать в работу в монастыри, понеже он, подлец, осмелился войску государеву продавать негодные пищали и фузеи.*

*Старшину олдермана Фрола Фукса бить кнутом и сослать в Азов, пусть не ставит клейма на плохие ружья.*

### § 2.

*Приказываю ружейной канцелярии из Петербурга переехать в Тулу и денно и нощно блюсти исправность ружей. Пусть дьяки и подъячие смотрят, как олдерман клейма ставит, буде сомнение возьмет, самим проверять и смотром и стрельбою. А два ружья каждый месяц стрелять пока не испортятся.*

*Буде заминка в войсках приключится, особливо при сражении, по недогляду дьяков и подъячих, бить оных кнутами нещадно по оголенному месту:*

*хозяину — 25 кнутов и пени по червонцу за ружье;*

*старшего олдермана — бить до бесчувствия;*

*старшего дьяка — отдать в унтер-офицеры;*

*дьяка — отдать в писаря;*

*подъячего — лишить воскресной чарки сроком на один год.*

### § 3.

*Новому хозяину ружейной фабрики Демидову повелеваю построить дьякам и подъячим избы, дабы не хуже хозяйской были. Буде хуже, пусть Демидов не обижается, повелю живота лишить.*

*Петр I».*

Стоит обратить внимание на то, что в приказе Петра отражены многие способы контроля и повышения надежности изделий, применяемые и сегодня: контрольные испытания, непримиримость ОТК, «контроль за контролерами» и даже суперсовременные «ускорен-

ные испытания» («А два ружья каждый месяц стрелять, пока не испортятся»).

Стремление «спрессовать» время — вот характерная черта современных экспериментов по надежности. Как сделать, чтобы эксперимент длился не долгие годы, а, скажем, несколько часов или минут? Здесь нужны новые критерии. Например, испытание изоляции электродвигателей при повышенных против номинального напряжении или температуре эквивалентно убыстрению течения времени испытания. Критерием подобия здесь, грубо говоря, является произведение интенсивности воздействия на время испытания. Жить меньше, с большим напряжением — такова, если можно так выразиться, «философия» ускоренных испытаний.

А нельзя ли оценить надежность изделий, вообще не испытывая их, просто по их внешнему виду? И такая, казалось бы, невероятная возможность не ускользнула от внимания исследователей.

В любой изготовленной детали могут быть дефекты — трещины, раковины. Хорошо, если они на поверхности детали, тогда их можно обнаружить осмотром — невооруженным глазом или с помощью различных технических средств, например микроскопа. Но как быть, если дефект снаружи не виден? Можно, конечно, применить так называемый разрушающий контроль изделий. Изделие подвергают растяжению, сжатию, изгибу, распиливанию, раздроблению, в общем, разрушают. Видимо, подвергать все изделия таким испытаниям не стоит — в некоторых случаях может ничего не остаться для дальнейшего использования. Такие испытания, как правило, производятся выборочно. Но ведь может статься, что дефект не в той детали, которую испытывали, а в соседней, неиспытанной, а именно она благополучно пройдет ОТК и затем, отказав, приведет к отказу изделия в целом. Поэтому такие разрушающие методы контроля практически неприменимы при изготовлении особо ответственных изделий — изделий космической, авиационной техники, вообще, в тех областях, где должна быть обеспечена надежность каждой детали. В обмотке современного мощного гидрогенератора более тысячи стержней и ни один из них не должен отказать, а испытать их все разрушающим методом нельзя. Кроме того, разрушающие испытания — довольно дорогое удовольствие.

Например, на заводах, выпускающих трубы из легированных сталей, до 18% готовой продукции проходит разрушающий контроль и, следовательно, неизменно расходуется дорогостоящий материал.

До последнего времени единственным неразрушающим методом контроля был внешний осмотр изделия. Но и тут пришлось столкнуться с непреодолимыми трудностями. Это связано с тем, что целый ряд производств имеет непрерывный характер. Возьмем для примера широко применяемое изделие — стальную трубу. Как осмотреть ее внутреннюю поверхность? Труба имеет длину несколько метров. С одного, а затем с другого конца в нее вводят специальный прибор, который напоминает перископ подводной лодки с лампочкой на конце. Медленно проворачивая этот прибор внутри трубы, контролер внимательно осматривает всю внутреннюю поверхность.

Казалось бы, все ясно и просто. Но тут возникает новая проблема. Время, которое занимает такая операция, зависит от многих причин; но даже в самом идеальном случае контролеру меньше чем за несколько минут не управиться. А трубы должны просматриваться все. Когда процесс производства труб был неавтоматизированным, это еще было полбеды. Но вот, например, на Первоуральском новотрубном заводе был пущен стан непрерывной прокатки труб. Его скорость — 18 метров в секунду, то есть за смену сотни километров труб. И, конечно, «заглянуть» во все из них при старом методе стало попросту невозможно.

Одним из первых и широко применяемых методов «дефектоскопии» было просвечивание изделий, деталей, материалов рентгеновскими лучами. Потом появились дефектоскопы, основанные на других видах проникающей радиации — гамма- и нейтронных излучениях, инфракрасных лучах, инфра- и ультразвуковых колебаниях. Эти дефектоскопы позволяют «видеть» внутреннюю часть деталей из самых различных материалов — металлов, керамики, пластмасс. Появилась возможность отбраковать детали с внутренними трещинами, раковинами, инородными включениями.

Для неразрушающего контроля изделий из металлов очень широко используются методы электромагнитной дефектоскопии. Суть ее заключается в том, что в катушку электромагнита вместо сердечника вкладыв-

вается исследуемая деталь. Если в детали имеется дефект, это сразу же будет видно на экране регистрирующего осциллографа. Использование таких приборов на подшипниковых заводах практически устранило брак подшипниковых деталей. Сейчас в нашей промышленности работают уже тысячи таких приборов.

Начаты работы по применению методов неразрушающего контроля продукции тяжелого электромашиностроения, например, тех стержней, из которых состоят обмотки турбо- и гидрогенераторов. Цель этих работ такова: ни один стержень со скрытым дефектом не должен попасть в генератор.

Что же еще, кроме повышения качества, приносят нам неразрушающие методы контроля? Исключительно важной стороной их применения является то, что наконец-то появилась возможность автоматизировать процесс контроля. Вернемся к примеру с трубами. Теперь вместо «перископа» применяются другие методы неразрушающего контроля. Мчащаяся по рольгангу со скоростью курьерского поезда труба проходит через систему датчиков, мгновенно оценивающих ее технические параметры. Счетно-решающее устройство, в которое поступают все данные о параметрах, определяет, куда отправить трубу — на склад готовой продукции или в изолятор брака.

Применение неразрушающей дефектоскопии намного увеличивает производительность труда контролеров. По данным одного из промышленных министерств, применение для контроля гамма-дефектоскопов «Нева» увеличило производительность труда контролеров в 16 раз. А комплект приборов для неразрушающего контроля труб заменяет полторы тысячи контролеров.

Сфера применения неразрушающих методов контроля качества продукции огромна. Дефектоскопов ждут на электромашиностроительных заводах, в строительстве, в радиоэлектронной промышленности. И скоро они появятся всюду.

Но не только в производстве могут найти применение методы дефектоскопии. Не менее важно их применение и при эксплуатации изделий, где они помогут заранее сигнализировать о недопустимом износе деталей. Ведь возникшая в эксплуатации трещина не всегда сразу приводит к отказу. Так, например, по зарубежным данным, трещина в лонжероне лопасти несущей



щего винта вертолета приведет к разрушению лопасти и неизбежной аварии через 35—50 минут работы. Приборы неразрушающего контроля могли бы выявить эту трещину до начала полета.

## МАШИНА СТАВИТ ДИАГНОЗ МАШИНЕ

Врач, к которому мы обращаемся, в первую очередь ставит диагноз. По описанным нами симптомам он делает заключение о причинах болезни и назначает соответствующее лечение. От того, насколько точно врач поставит диагноз, зависит успех. В подавляющем большинстве случаев правильная и своевременная постановка диагноза может избавить человека от многих страданий.

Сейчас появляется профессия «врачей для машин». Установление причины повреждения машины, а еще лучше заблаговременное предупреждение возможной аварии — сложная, интересная и весьма насущная задача. Этим занимается новая наука, влившаяся в русло науки о надежности, — техническая диагностика.

Автолюбители знают, что установить причину повреждения в относительно простой машине — автомобиле иногда значительно сложнее, чем ее устранить. Что же тогда говорить о современных сверхсложных системах, количество деталей и узлов в которых достигает многих тысяч!

Техническая диагностика занимается изучением сложных технических систем с несколько неожиданной точки зрения — она изучает отказы системы. До сих пор все сложные системы интересовали исследователей лишь с точки зрения выполнения ими основных задач, удобства, эстетики, возможности получения наибольшего коэффициента полезного действия. Отказавшие системы раньше никогда не изучались. А диагноста интересует, как система будет работать, если в ней откажет какой-то элемент или узел. Понятно, что это можно сделать только в том случае, если указать различные состояния системы — рабочее и нерабочее (это, к сожалению, для сложных систем не всегда просто сделать). Если эти состояния удалось установить и описать, тогда встает следующая задача — выделить те элементы и узлы, которые могут привести систему в нерабочее состояние, и описать их состояние

при отказе. Если удалось сделать и это, необходимо решить еще одну задачу — составить диагностический тест, то есть программу проведения проверок. Подобранный диагностический тест имеется, например, в техническом паспорте автомобиля «Москвич», где описана последовательность проверок, в результате которых можно локализовать место повреждения, а затем устранить его.

Проверять систему можно по-разному: можно проверить каждый элемент системы, можно проверить группы элементов или целые узлы.

Довольно распространенным методом проверки является метод замены: элемент, который, как предполагают, поврежден, заменяют на заведомо годный и смотрят, как при этом работает система. Так, например, ремонтируют радиоприемники: вместо измерения параметров радиодетали, которая, по нашим предположениям, неисправна, ее просто заменяют новой и смотрят, работает ли приемник.

При проведении проверок начинаются особенно большие трудности. Действительно, для простой схемы электрооборудования «Москвича» можно составить простые диагностические тесты. А что делать с системой, в которую входят тысячи элементов? Диагностический тест для такой системы составил бы многие тома, а сама проверка заняла бы годы. Вот теперь уже диагностику не обойтись без электронных машин, а сама диагностика должна становиться автоматической. Прототипы таких автоматизированных диагностических систем уже имеются: например, на городских автоматических телефонных станциях есть автоматы, которые постоянно, с частотой 600 вызовов в час контролируют телефонную сеть. Особенно важна автоматическая диагностика для сложных электронных и радиотехнических систем, которые должны стать «саморемонтирующимися» устройствами, указывающими на свои неисправности, и возможно, даже самостоятельно устраняющими их. В противном случае какой-нибудь неисправный элемент, ремонт или замена которого займут минуты, можно годами отыскивать в ветвистых схемах современных электронных джунглей.

Для механических устройств разрабатываются очень интересные диагностические методы, основанные на измерении шума. В основе этих методов лежат сле-

дующие соображения. Даже точно изготовленная деталь имеет какие-то отклонения от заданных размеров. Если вынуть ее из машины, то, вообще говоря, нельзя сказать, дефектна она или нет, даже измерив ее вдоль и поперек. Подходит эта деталь или не подходит, зависит еще и от размеров тех деталей, с которыми она сопрягается. Но в собранной машине уже нельзя провести измерения. Взаимодействие деталей проявляется только в процессе работы машины, а тогда измерения становятся еще более затруднительными, если не невозможными. Выход нашелся и из этого сложного положения. Оказывается, измерение шума или вибрации машины, «акустическая диагностика», дает возможность получить достаточно объективную информацию об ее состоянии.

Многие видели, наверное, кадры, посвященные пуску в эксплуатацию какой-нибудь мощной турбины. Почти всегда при этом присутствует человек, который прикладывает к машине нечто вроде докторского стетоскопа и «выслушивает» машину. Машина «рассказывает» ему, как взаимодействуют детали при ее работе. Когда машина шумит, это означает, что детали ее ударяются друг о друга. Если бы машина была изготовлена идеально точно, больших зазоров бы между деталями не было, не было бы этих ударов, и машина работала бы совершенно бесшумно. Чем больше зазоры, тем сильнее удары, тем громче шумит машина. Конечно, есть и такие механизмы, которые стучат обязательно по условиям работы, например, клапаны. Но и у таких деталей шум тоже должен быть определенным, а если он меняется, это означает, что не все идет гладко.

Шум, который издает машина, можно измерить. Для этой цели разработаны специальные приборы — так называемые шумомеры. Но знать только силу шума недостаточно. Действительно, при одном и том же уровне шума машина может иметь совершенно различные дефекты. Шум может возрасти и из-за увеличения зазоров в подшипниках, и из-за износа шестерни, и по другим причинам. Возрастание шума может объясняться и одной большой поломкой, и многими мелкими. Как выйти из этого положения?

Один из путей усовершенствования акустической диагностики заключается в том, что вместе с шумом

измеряются и другие величины. Примером такой диагностической системы является диагностирование танковых двигателей, разработанное американскими инженерами. При этом на двигатель устанавливается более шестидесяти датчиков, которые измеряют температуру в различных точках, давление масла и топлива, вибрации узлов и многие другие параметры. Измерения поступают в универсальную цифровую машину, она анализирует результаты и печатает «диагноз»: какие детали подлежат замене. Эта же машина управляет процессом диагностики, продолжающимся 30 минут. Аналогичные диагностические системы разработаны и для авиационных двигателей, но там уже требуются сотни датчиков. В этом и недостаток подобных систем: время установки датчиков очень велико, а встраивать их «навечно» при изготовлении машины — дорого.

Другой путь расшифровки шумового сигнала — его тщательный анализ. Действительно, если глубоко изучить характер шума деталей при различных видах повреждений, его можно дифференцировать. Если, например, равномерно истерлись зубья шестерни, то шум будет носить характер гула, а если в шестерне поломался зуб, в шуме появится периодический стук. Если такую дифференциацию провести удастся, то по характеру шума можно определить «заболевшую» деталь и устранить неисправность. При этом задача диагностики становится сходной с задачей выделения сигнала из помех, успешно решаемой в радиотехнике. Действительно, если шум всех деталей, кроме интересующей нас, считать помехой, то нужно выделить на ее фоне полезный сигнал. Аппаратура для диагностики, работающая на этом принципе, разработана в Сибирском отделении Всесоюзного института механизации сельского хозяйства. Эта аппаратура, получившая название САД (система акустической диагностики), демонстрировалась на международной выставке «Автоматизация — 69». С помощью такой аппаратуры можно ставить диагноз целому классу машин. Только предварительно аппаратуру нужно протарировать — «дать прослушать» машины с известными дефектами.

Повсеместное применение диагностики позволит намного сократить число аварий. Ведь диагноз может зафиксировать не только происшедшую аварию, но и

чреватое аварией состояние, которое характеризуется изменением акустических параметров.

Диагностические посты для проверки технического состояния автомобилей — уже не редкость. Карточка дефектов, которую выдают владельцу после «освидетельствования», точно определит, какая деталь нуждается в ремонте или замене.

Возвращаясь к началу этого параграфа, тихо позавидуем тому, что пока еще не разработаны «диагностические стенды» для самого человека. Техническая диагностика развивалась так быстро, что отчасти опередила медицинскую.

В заключение приведем пример другой диагностики — диагностики состояния зданий. Ее разработали в одном из НИИ Москвы. Вот как выглядит таблица «симптомов», «диагнозов» и «лечения» для жилых домов, в которых мы с вами живем:

Физи- че- ский износ, %	Признаки износа	Примерный ремонт
0—10	Нарушение покрытий выступающих частей фасада, отдельные мелкие выбоины	Текущий ремонт
11—20	Выбоины фактурного слоя местами, ржавые подтеки около выбоин, загрязнение и выцветание наружной отделки	Заделка раствором выбоин, подмазка фактурного слоя
21—30	Отслоение и выкрашивание раствора в местах зачеканки стыков, следы протечек через стыки внутри здания	Герметизация швов
31—40	Глубокие раскрытые трещины и выбоины, местами полное отсутствие раствора в стыках, следы постоянных протечек, промерзание и продувание через стыки	Вскрытие, зачеканка и герметизация стыков
41—50	Диагональные трещины по углам простенков, вертикальные трещины по перемычкам в местах установки балконных плит и козырьков	Усиление простенков и перемычек
51—60	Вертикальные широко раскрытые трещины длиной более 3 м по стыкам и телу перемычек, нарушение связи между отдельными участками стен	Укрепление и усиление отдельных участков
61—70	Заметные искривления горизонтальных и вертикальных линий стен, массовые разрушения блоков или панелей	Разборка и устройство стен вновь, ремонт нецелесообразен

Что может дать техническая диагностика? Прежде всего поможет значительно сократить время ремонта, которое пока еще очень велико. Например, для автомобилей даже в благоприятных климатических условиях на текущий ремонт уходит около 20% рабочего времени; из-за технических причин потери рабочего времени тракторов составляют 30—35%. В чем причина этого внепланового, текущего ремонта? Причина в том, что несвоевременно выявлены, диагностированы потенциальные неисправности. По некоторым данным, даже при организованном техническом обслуживании потребность в ремонте гусеничных тракторов на уборке урожая и севе возникает каждые 50 часов работы, а ремонт занимает в среднем 7,1 часа. Значит, из восьми рабочих смен трактор одну смену простаивает. В это время производится его ремонт, которого можно было бы избежать при правильной технической диагностике. И это касается не только автомобилей и тракторов. По данным печати США, общие затраты на ремонт и техническое обслуживание радиотехнического оборудования составляют 1200% от его первоначальной стоимости.

Инженеры ищут новые, все более и более эффективные системы технической диагностики. Иногда в этой области предлагаются совершенно неожиданные решения. Сотрудники Технологического института в Иллинойсе (США) предложили устанавливать в наиболее уязвимых или ответственных местах оборудования ампулы с духами. Если в соответствующем узле машины что-то произошло, ампула разбивается, и узел начинает благоухать, сигнализируя о своей неисправности.

Прогрессивная и практичная система поиска неисправностей заложена в проект ЭЛИНа — электронного информатора, установленного на одном из зданий на проспекте Калинина в Москве. ЭЛИН — это прежде всего огромный экран, на котором демонстрируются цветные фильмы, появляются информационные сообщения, яркие, красочные изображения. Мы не будем касаться здесь технических вопросов работы этого сложнейшего электронного устройства, в которое входит более 600 тысяч деталей. Посмотрим только, как обеспечивается работа схемы с точки зрения ее надежности. Ведь при столь сложной схеме и насыщенности ее деталями вероятность отказа какого-нибудь элемента

очень велика. Поэтому вопросам надежности ЭЛИНа с самого начала разработки уделялось огромное внимание. Так называемое матричное табло — экран — состоит из 103 тысяч лампочек. Табло построено таким образом, что если даже перегорят одновременно 5000 лампочек, зрители этого не заметят. Но перегоревшую лампочку следует тем не менее заменить. Как теперь найти ее среди всех неперегоревших? На помощь приходит система автоматического поиска неисправностей, которая отыщет вышедший из строя элемент и укажет, где он находится. Вся схема управления ЭЛИНом не содержит ни одной электронной лампы, здесь используются полупроводники — тиристоры, транзисторы, диоды, собранные в сменные модули. Если такой модуль откажет, он может быть быстро заменен таким же. Широко применено в ЭЛИНе резервирование целых блоков, состоящих из таких модулей. Если какой-нибудь блок откажет, автоматический переключатель отключит его, и на его место подключит резервный. А на пульт управления пойдет сигнал: «Блок неисправен! Нужно заменять модули!» Таким образом, в ЭЛИНе осуществлен уже один из важных принципов построения электронных систем будущего — принцип «саморемонта».

## ПОЧЕМУ ПОДВОДНЫЕ ЛОДКИ ТАК ДОРОГО СТОЯТ?

Собственно, а почему они должны быть дешевыми? Ведь современный подводный корабль — это целый мир, в котором команда может жить месяцами, не поднимаясь на поверхность. Такие сооружения и должны стоить очень дорого.

Можно, однако, показать, что они могли бы стоить намного меньше.

В 1939 году США уделяли особенно большое внимание созданию мощного подводного военного флота — он должен был обеспечить господство этой страны в океане. Со стапелей знаменитой Портсмутской верфи один за другим сходили подводные крейсера, все более совершенные.

«Сквалус» был одним из них. Новейшая по тем временам субмарина с мощным вооружением была способ-

на в надводном положении развивать скорость до 20 узлов. Она уже совершила восемнадцать погружений, которые прошли достаточно успешно. 23 мая 1939 года должно было произойти очередное, девятнадцатое, испытание лодки. Программа была на этот раз несложной — предстояло опробовать скоростное погружение: за 60 секунд спуститься на 15 метров, а затем всплыть.

Испытание было назначено на 8.30 утра. Командант военно-морской базы контр-адмирал Коул в 8.40 получил извещение о начале погружения и о том, что лодка должна всплыть через час. Но через час сообщения о всплытии лодки не поступило. Не поступило оно и через сутки, как оно не поступило вообще никогда. «Сквалус», гордость американского военного флота, затонул при своем девятнадцатом погружении.

К счастью, катастрофа со «Сквалусом» оказалась одной из тех немногих аварий подводных лодок, когда удалось спасти хотя бы часть экипажа. Именно этому обстоятельству мы обязаны тем, что имеем возможность относительно точно воспроизвести картину аварии.

Испытания начались вовремя. В 8.30, как и предполагалось, была подана команда на погружение. Командиру корабля — старшему лейтенанту Макуину поступили рапорты о герметичности лодки, балластные цистерны быстро заполнялись водой. Через 60 секунд лодка уже была, как это и было запланировано, на глубине 15 метров. Внезапно на центральный пост поступил сигнал о том, что в машинное отделение поступает вода, а еще через мгновение раздался отчаянный крик: «Клапан подачи воздуха к дизелям открыт!» Через отверстие в корпусе диаметром чуть ли не в метр в лодку мощным потоком врывалась вода. Отчаянные попытки спасти лодку продолжались недолго — уже через 4 минуты с начала погружения лодка легла на дно, и стало ясно, что ей уже никогда не всплыть. Тем, кого не захлестнуло потоком воды, нужно было, забившись в уцелевший отсек, ждать помощи извне...

Через метровое отверстие в лодку хлестала вода, а по данным системы сигнализации значилось, что лодка полностью герметизирована. Ни одна красная лампочка на сигнальной схеме не известила о неис-



правности клапана, хотя по крайней мере одна из них была предназначена специально для этого.

Почти двое суток продолжались операции по спасению экипажа. Тридцать три человека удалось спасти, но двадцать шесть моряков и лодка погибли. Погибли из-за неисправности системы сигнализации, утверждавшей, что лодка герметична.

Катастрофа «Сквалуса» — не случайность. Только за время второй мировой войны 50 подводных лодок капиталистических стран погибли не в бою, а из-за различных неисправностей.

После второй мировой войны появились атомные подводные лодки — еще более сложные сооружения. На них тоже начались аварии — да еще какие! На первом американском атомном подводном корабле «Наутилус» во время ремонта было обнаружено 159 дефектов. «Хелибату» пришлось всплыть из-за течи в носовой части. На «Тритоне» — пожар, взрыв и потеря управляемости. Утечка воды из первого корпуса реактора на ракетноносце «Теодор Рузвельт». Когда «Скейт» совершал переход подо льдами Северного Ледовитого океана, у него отказал главный конденсатор. Лишь благодаря случайности лодку удалось спасти, найдя для ремонта полынью в арктических льдах. На «Скипджеке» отказал насос силовой установки. И, наконец, в апреле 1962 года авария «Трешера», одна из крупнейших катастроф подводных лодок, приведшая к гибели всех 129 членов экипажа. Причина аварии по заключению следственной комиссии — разрыв трубопровода забортной воды. Некоторые специалисты, однако, считают, что более правдоподобная причина — неисправность горизонтальных рулей. Вот если бы был еще один комплект рулей, еще один конденсатор...

После каждой такой аварии конструкторы подводных лодок принимали меры к тому, чтобы катастрофы больше не повторялись. Был взят курс на дублирование всех жизненно важных узлов подводных кораблей. Действительно, возвращаясь к «Сквалусу», можно сказать, что если бы сигнализация была задублирована, то даже при отказе одной из систем вторая не допустила бы погружения лодки с открытым клапаном.

Так к сегодняшнему дню и оказалось, что практически все системы и механизмы современных подводных лодок задублированы. Что касается систем сигнала

лизации, то они задублированы многократно, и приборы работают по так называемому принципу кворумирования, когда показание одного прибора должно обязательно подтверждаться показаниями еще нескольких приборов, независимых от первого. Теперь можно ответить на вопрос, поставленный в заголовке, — подводные лодки стоят так дорого, потому что у них в одном корпусе фактически две, совершенно независимые и одинаковые подводные лодки.

«Двойные» подводные лодки стали сейчас почти такими же надежными, как обычные надводные суда. Беспрецедентные безаварийные кругосветные рейсы наших подводных лодок — тому подтверждение.

Нужно сказать, что в ряде случаев требуется и трех-, и четырех-, и пяти-, и даже шестикратное резервирование. Чтобы указать на необходимость такого резервирования в особо ответственных случаях, достаточно привести лишь один пример.

Не так давно американский бомбардировщик В-52 был вынужден в силу ряда обстоятельств сбросить термоядерную бомбу, находившуюся у него на борту, над относительно многонаселенным штатом Южная Каролина. Необходимо было лишь сделать так, чтобы бомба, упав, не взорвалась. Для этого ее установили на шесть (!) предохранителей и после этого сбросили.

Когда бомба была найдена, оказалось, что из шести предохранительных устройств пять были неисправными; лишь благодаря шестому устройству не произошло катастрофы ужасающего масштаба.

## НОВАЯ НАУКА О КАЧЕСТВЕ

Можно ли измерить качество? Ясно, что можно измерять отдельные показатели качества технических устройств и потребительских товаров — вес, мощность, производительность и др. И для этого, вообще говоря, уже есть наука — метрология. Зачем же еще одна наука?

Оказывается, есть целый ряд технических задач, связанных с надежностью, для решения которых измерение качества просто необходимо. Первая из них — управление качеством продукции. Эта задача постоян-

но находится в центре внимания исследователей. Чтобы можно было говорить о повышении качества, действительно нужно сначала научиться его измерять. Иначе трудно будет сказать, повысилось ли оно. Необходимо уметь измерять качество и для задач ценообразования, за более качественную, более надежную в работе продукцию нужно и больше платить. Или вот еще одна задача — выбор одного из нескольких вариантов изделий, материалов, машин. Хорошо было бы выбирать, например, один из двух вариантов, резко различающихся между собой по всем показателям. Но так практически никогда не бывает.

В соответствии с определением толкового словаря русского языка качество — это наличие существенных признаков, свойств, особенностей, отличающих один предмет или явление от другого. Но если предметы или явления отличаются друг от друга, то это отличие можно и необходимо измерять. Еще Платон говорил: «Если исключить из любой науки математику, измерение и вес, то немного после этого в ней останется».

Конечно, измерение качества по своим методам еще не может стать в один ряд с привычными нам измерениями длины, веса, времени. Но оно может и должно обладать всеми характерными признаками измерения вообще.

Прежде всего качество должно оцениваться каким-то одним показателем, чтобы по его значению можно было бы сравнивать различные изделия хотя бы одной и той же природы. Далее измерение качества, как и любого другого объекта измерения, должно проводиться в соответствии с некоторым эталоном. Конечно, для качества трудно, а может быть, и невозможно подобрать некоторый физический эталон, как, например, подобраны эталоны для длины, времени, веса. Но какой-то эталон принять можно, хотя бы — то изделие, качество которого мы считаем идеальным.

Рассмотрим наглядный, знакомый всем из практики пример. Предположим, мы покупаем костюм. Нам предлагается на выбор целый набор костюмов. Все они различные. Один из лучшего материала, но плохо сшит. Лучше сшитый костюм не того фасона, какой нам хотелось бы, а костюм, подходящий по модели, — не совсем удачной расцветки. И все эти костюмы еще различаются в цене! Выбор явно за-

труднен! Но вы в конце концов выберете костюм, то есть сумеете оценить качество предложенных вам вариантов (может быть, с помощью «экспертов» — жены, приятеля, продавца).

В этом примере присутствуют все характерные признаки измерения качества. В своем воображении вы интуитивно создали идеальную модель, некий «эталон» костюма, который устроил бы вас по всем показателям. И все предложенные вам костюмы вы мысленно сравниваете с этим эталоном, проводя какую-то подсознательную оценку качества.

Такие же методы в принципе пригодны и для измерения качества вообще. При этом создается некий эталон изделия, качество которого требуется оценить. Конечно, когда дело идет не о костюме, а о сложной технической системе, выбрать эталон не так просто, для этого иногда требуется привлечь многих высококвалифицированных экспертов. Но в принципе это возможно. Потом все однотипные изделия сравниваются с эталоном и каждое из них, используя различные математические модели, можно охарактеризовать некоторым показателем, комплексно оценивающим качество.

Интерес к таким методам оценки качества исключительно велик. За последние годы появились публикации о методах комплексного измерения качества столь разных изделий, как грузовые автомашины и магнитофоны, мопеды, обувь, промышленные сооружения.

Конечно, предстоит еще долгий путь к окончательной разработке методов измерения качества, но он, безусловно, будет пройден. Залог тому — упорный труд десятков и сотен ученых в нашей стране и во всем мире, ясно сознающих необходимость этой работы для повышения надежности создаваемых человеком вещей.

На любом изделии, которое попадает к потребителю, стоит штамп «ОТК». ОТК — отдел технического контроля. Его функция — поставить непреодолимый заслон продукции низкого качества, чтобы ни одно изделие даже с самым маленьким дефектом не попало к потребителю. Но качество продукции определяется в процессе труда, поэтому нельзя, минуя всех участников процесса производства, управлять качеством продукции. Этот процесс должен строиться на неотвратимости вскрытия даже самого незначительного откло-

нения от установленных параметров и на принципах гласности, общественной оценки работников, и отличившихся в достижении высокого качества своего труда, и отстающих в этом важнейшем деле.

Однако чтобы можно было оценивать качество труда, необходимо еще научиться его измерять, измерять нечто эфемерное, неуловимое. Легко оценить количество труда — чем больше, тем лучше. А вот с качеством продукции дело обстоит значительно сложнее. И все же пока мы не научимся оценивать качество, оно не может быть предметом серьезного изучения.

В 1955 году саратовские машиностроители разработали и внедрили систему организации бездефектного труда, которая очень быстро распространилась на многие тысячи предприятий нашей страны. Аналогичные системы впоследствии появились и за рубежом<sup>1</sup>. Постановлением ЦК КПСС в 1967 году система организации бездефектного труда была рекомендована для внедрения на всех предприятиях как важное средство повышения качества продукции.

В чем же отличие этой системы от всех прочих, что обусловило ее широчайшее и быстрое внедрение во всех сферах материального производства? Главное в том, что в этой так называемой саратовской системе впервые была введена количественная оценка качества труда. Появившиеся впоследствии другие системы управления качеством также использовали разработанный в саратовской системе принцип. В чем же этот принцип заключается?

Количественный показатель качества труда — процент работ, принятых с первого предъявления. Что это за показатель, чем вызван выбор именно этой величины как оценки качества труда?

Каждая работа должна быть выполнена без каких-либо отклонений от условий, заданных чертежом, техническими заданиями или какими-нибудь другими документами. Только в том случае, если таких отклонений нет, можно говорить о высоком качестве труда работника. А если такое отклонение появляется? Его зафиксирует контролер и вернет изделие на доработку и исправление. Видимо, в процессе изготовления про-

---

<sup>1</sup> Нужно отметить, что эти системы в США, Японии, ФРГ в значительной мере повторяли принципы советской.

дукции качество труда было недостаточно высоким. Если подсчитать процент работ, принятых с первого предъявления у каждого работника за день, неделю, месяц, можно оценить качество его труда за это время. А если сопоставить этот показатель с привычным показателем выполнения плана за тот же период, то это позволит не допустить имеющейся еще кое-где вредной тенденции выполнять план по количеству любой ценой, закрывая глаза на недоработки в отношении качества продукции. Ценность этого показателя еще и в том, что он позволяет выявить качество труда работника любой профессии. Ведь каждый производит какую-то продукцию: станочник — детали, сборщик — изделия, конструктор — чертежи и т. д.

С введением этого показателя новый смысл приобрело и социалистическое соревнование за повышение качества продукции. Появилась возможность действительно, целеустремленно влиять на качество труда.

Наша промышленность твердо встала на путь изготовления изделий самого высокого качества.

Отвечая на вопрос: какой должна быть десятая пятилетка, Генеральный секретарь ЦК КПСС тов. Л. И. Брежнев сказал на юбилейном заседании в Кишиневе, посвященном 50-летию Молдавской ССР, 11 октября 1974 года:

«Исходя из общих направлений нашей экономической политики, можно, пожалуй, сказать, что это должна быть прежде всего пятилетка качества, пятилетка эффективности во имя дальнейшего роста народного благосостояния».

Группа ученых и специалистов, разработавших на рижском заводе «ВЭФ» имени В. И. Ленина систему массового производства высшего качества, была удостоена Государственной премии СССР 1973 года.

Рижский завод первым среди родственных предприятий страны поставил в паспорте выпускаемого им радиоприемника знаменательную фразу: «Срок гарантии — три года». Этим завод «ВЭФ» занял самые передовые позиции в мире. Известно, что лучшие образцы зарубежных транзисторных радиоприемников имеют значительно меньшее гарантийное время. Так, например, транзисторный приемник «Сателлит-6001» фирмы «Грундиг», выпускаемый в Федеративной Республике Германии, подлежит гарантийному ремонту лишь в

течение трех месяцев со дня продажи, и то далеко не во всех случаях.

Рижские приемники «ВЭФ-201», «ВЭФ-202», «ВЭФ-204», «ВЭФ-206» могут безотказно работать в течение 27 900 часов — в 11 раз дольше, чем установлено нормами надежности.

Может быть, столь высокая надежность достигнута за счет того, что конструкция приемников не обеспечивает высокого качества приема и воспроизведения? Отнюдь нет. Рижские приемники удостоены государственного Знака качества и, по единодушному мнению специалистов, превосходят лучшие зарубежные приемники такого же класса.

Начинаются работы по выпуску таких надежных аппаратов, конечно, еще в конструкторских бюро. Это там позаботились о том, чтобы схема и конструкция приемника были предельно просты, не содержали бы лишних и ненадежных элементов. Это конструкторы позаботились о простоте, технологичности изготовления всех деталей будущего приемника. Здесь, в конструкторском бюро, был заложен фундамент для экономии средств, для снижения себестоимости продукции и трудоемкости ее изготовления, для повышения надежности. Реформы, направленные на создание высоконадежных радиоприемников, неизбежно должны были коснуться и организационных сторон производства. Были укрупнены производственные участки, объединены цехи, образовано единое руководство. Все производство было четко продумано, подчинено единому ритму. Была отработана взаимосвязь всех звеньев и операций, обеспечена возможность управления и корректировки производственного процесса с одного пульта. Слаженность действий сборочных и заготовительных участков, четкий жесткий ритм производства и постоянный контроль не позволяют «допустить слабину».

Не забыли вэфовцы механизацию и автоматизацию операций. Сборочные автоматы, использованные на заводе, заменяют труд десятков людей. Для выявления в приемнике скрытых производственных дефектов используется метод ускоренных испытаний. Эксплуатация приемника в течение 150 часов «прокручивается» тут в 3 минуты! Таким образом выявляются все «приработочные» отказы.

Большую роль в новой системе занимает изучение эксплуатационных характеристик радиоприемника, его «поведения» в процессе эксплуатации. Приемники «ВЭФ» экспортируются в 40 стран, в том числе в Англию, на Кубу, в Иран, в страны Африки. Миллион приемников ежегодно выпускается заводом «ВЭФ». Эти аппараты попадают в разные руки, в разные климатические условия. Поэтому крайне важно знать мнение потребителей, знать о наиболее частых дефектах и отказах. Поступающая статистическая информация поддается тщательному инженерному анализу и кладется в основу рабочей программы по дальнейшему совершенствованию радиоприемников.

Весь этот комплекс мероприятий и приводит к выпуску высококачественных, недорогих, экономичных, рентабельных в производстве, в высшей степени надежных транзисторных радиоприемников.

Система высокопроизводительного массового производства, созданная на «ВЭФе», привела к тому, что за два с половиной года производительность труда на заводе возросла на 35%, выпуск радиоприемников увеличился на 24%, себестоимость продукции снизилась на 21%, штаты предприятия сокращены на 10%. Одновременно улучшились бытовые условия и возросла заработная плата рабочих.

На заводе «ВЭФ» рассказывают такой случай. Один из владельцев радиоприемника «ВЭФ» случайно уронил его в Ангару. Дело было осенью, и владелец мысленно простился со своим приобретением. Однако весной ему удалось поднять приемник со дна реки. Вот «ВЭФ» высушен, заменен разбухший в воде динамик, поставлены свежие батареи — и приемник заработал как ни в чем не бывало!

Этот пример чрезвычайно наглядно показывает связь надежности устройства с качеством его изготовления. Мы видим, таким образом, что надежность — одна из важнейших характеристик качества.

Требования к точности современных машин, оборудования, станков непрерывно растут. Когда Ползунов делал свою первую паровую машину, измерительным инструментом для него служил екатерининский пятак толщиной 6 миллиметров. А современные станки позволяют обрабатывать детали с точностью 5 тысячных



долей миллиметра. Но точность — это еще не все. Важно и то, чтобы эта точность сохранялась все время, пока станок работает. А с этим у нас, к сожалению, еще не все в порядке. Если при эксплуатации прецизионных станков швейцарской фирмы «Торнас» за 2 года терялось 2 микрона точности, то у аналогичных наших станков уже через год точность снижалась вдвое. Специалисты по качеству выявили причины этого явления и разработали комплекс мероприятий по повышению точности советских станков.

## НАДЕЖНЫЙ АВТОМОБИЛЬ НА БЕЗОПАСНОЙ ДОРОГЕ

С 80-х годов прошлого столетия, когда Даймлер и Бенц установили легкие бензиновые двигатели на велосипед и трехколесную коляску, началось победное шествие автомобиля по дорогам всего мира. Очень удобная вещь — автомобиль. Но... если задать себе вопрос, где чувствуешь себя спокойней — под бетонным перекрытием современного здания или в кожаных креслах движущегося автомобиля, то, видимо, ответ будет однозначным... Буквально каждый день приносит новые сообщения об автомобильных авариях.

«Париж. В результате автомобильных катастроф на автострадах Франции за последние дни минувшей недели 119 человек погибли и 3674 человека получили ранения. По сравнению с предыдущим годом количество дорожных происшествий и человеческих жертв возросло» (15 апреля 1971 года).

«Брюссель. Крупная катастрофа, которая произошла на автомагистрали между Гентом и Антверпеном в результате взрыва газовоза, повлекла за собой смерть 3 человек и тяжелые увечья 6 других водителей и пассажиров. Убытки, причиненные автокатастрофой, составляют более 1 миллиона бельгийских франков» (25 апреля 1971 года).

«Бонн. В дни пасхальных праздников в результате автомобильных аварий на дорогах ФРГ погибли десятки людей. Только в одной земле Северный Рейн — Вестфалия в течение четырех дней погибли 18 человек и были ранены 996.

На дорогах другой земли — Баварии в эти дни имела место почти 1000 несчастных случаев. При этом 19 человек погибли» (24 апреля 1973 г.)

«Женева. В результате происходящих в странах Европы через каждые 30 секунд дорожных происшествий каждые 5 минут погибает 1 человек и еще 20 получают ранения, сообщает Европейская экономическая комиссия ООН» (16 марта 1973 г.).

К сожалению, аварии оказались неразлучным спутником автомобиля. Уже в 1896 году произошла первая автомобильная авария в Англии: на крутом спуске у автомобиля лопнул обод колеса, пассажир и водитель погибли. Популярный в начале нашего века русский писатель Антон Скиталец в газете «Копейка» писал: «Редкий день проходит без того, чтобы автомобили не раздавили насмерть двух-трех человек. Армия шоферов представляется мне какой-то ордой белых дикарей, которые по произволу казнят и милуют». Были введены суровые наказания за преступления на дорогах. А некоторые царские чиновники просто решали «не пущать». Когда екатеринбургский присяжный поверенный Логошкин выписал себе из-за границы автомобиль и появился на нем на улицах города, уральский военный губернатор сразу решил проблему безопасности движения. В своем предписании уральскому полицмейстеру № 11063 от 3 октября 1901 года он приказал: «Автомобиль задержать и отобрать, а едущего на нем привлечь к законной ответственности».

Конечно, «не пущать» не получилось. Автомобиль завоевал дороги всего мира. Но неизбежны ли аварии? Будет ли вечным спутником автомобиля длинный и мрачный список жертв?

Скорее всего, ждать полной ликвидации этого списка не приходится. И прежде всего потому, что автомобильная авария есть результат, если можно так выразиться, «тройной ненадежности»: человек + автомобиль + организация безопасного движения. В науку о надежности должны, таким образом, влиться и проблемы психологии, проблемы безопасности, вопросы организации движения и строительства.

Мы начинаем постепенно осознавать, что понятие «наука о надежности» шире понятия «теория надежности». Наука о надежности включает в себя элементы фундаментальных и прикладных наук, множество на-

правлений исследования и развития. Сейчас мы увидим, как вольется в мощное русло этой «супернауки» ряд, казалось бы, небольших притоков.

...К сожалению, улицы в городах и дороги между населенными пунктами в основном строились тогда, когда автомобилей не было и в помине. Особенно это относится к старым городам, где сеть улиц складывалась с учетом удобства передвижения пешеходов, всадников и сравнительно небольших экипажей. Современному крупному и скоростному автомобилю трудно развернуться и в прямом и в переносном смысле в сети перекрестков, улочек и переулков. Уже сейчас средняя скорость автомобиля в Париже стала меньше скорости пешехода. По поводу извилистых английских дорог писатель Г. К. Честертон сказал: «Качающийся из стороны в сторону английский пьяница построил кривые английские дороги». Это, конечно, ясное и заманчивое объяснение, но, к сожалению, и оно не помогает делу. Кривые и узкие дороги остались нам в наследство от прошлого, и противоречие между современным транспортом и этим архаизмом приводит к большому числу автомобильных аварий.

И у нас в стране, и за рубежом потоки пешеходов и автомобилей в городах стараются разделить. Подземные переходы, которых с каждым годом становится все больше, резко снизили число наездов автомобилей на пешеходов. А в новых районах Москвы, таких, как Северное Чертаново, потоки машин вообще уйдут под землю, оставив для пешеходов поверхность улиц и площадей. Во всем мире развернулось колоссальное дорожное строительство. Старые дороги заменяются широкими современными магистралями без пересечений и перекрестков.

Но и на самой ровной и широкой дороге может произойти столкновение. Автомобиль — не паровоз, к рельсам он не привязан, и одно неверное движение руки водителя может выбросить его навстречу потоку автомобилей. И вот уже на Волгоградском проспекте Москвы и во многих других местах проходят испытания проволочные сети, разделяющие потоки машин. Если автомобиль свернет с пути, сетка не пропустит его на другую сторону шоссе и предохранит водителей и пассажиров от лобового столкновения. И даже без таких чрезвычайных происшествий разделительная

сетка приносит много пользы — она рассеивает свет от фар встречных автомобилей и предохраняет водителя от ослепления.

От чего только не зависит судьба автомобиля и водителя! Когда идет дождь, между шоссе и колесами автомобиля образуется пленка воды, резко снижающая сцепление. В этих условиях автомобиль может стать практически неуправляемым. Для устранения этого явления фирма «Данлоп» разработала покрышки, вытесняющие воду из-под колес. В Англии пошли путем усовершенствования дорог — там дороги имеют грубозернистую структуру поверхности. На бетонных дорогах такая структура достигается специальным методом зачистки поверхности бетона до его затвердения, а когда по мере износа поверхность сглаживается, структуру возобновляют путем нанесения поперечных борозд.

Очень много аварий на дорогах происходит из-за столкновения с дорожными знаками, которыми сплошь уставлены обочины шоссе. Но если сделать опору дорожного указателя гибкой, при ударе автомобиля о такую опору она изгибается, и оба участника столкновения остаются невредимыми.

Москвичи уже привыкли к объявлению: «Поезд метро ведет автомашинист». Применяются автомашинисты и на железных дорогах. Может быть, скоро и водитель автомобиля будет избавлен от необходимости «вертеть баранку».

Автоматам не свойственны психологические «отливы» и «приливы», волнения, ослабление внимания, рассеянность, которые так характерны для человека. Введение автомата-водителя могло бы резко увеличить безопасность автомобильного движения. В некоторых странах уже есть участки дорог, где под полотном проложен электрический кабель. Протекающий в нем ток создает электромагнитное поле, а приемник и автомат, установленные на автомобиле, внимательно следят за тем, чтобы машина следовала точно вдоль него.

Интересный проект «электронной автострады» разработала группа профессоров Массачусетского технологического института. Этот коллектив предлагает создать сеть эстакадных автострад, по которым машины будут передвигаться при помощи электроэнергии. Эта

система позволит автомобилистам без остановок и задержек въезжать в город и выезжать из него.

Над главными городскими магистралями предполагается построить эстакадные электрострады, которые будут выходить за пределы города. Строительство таких электрострад, выполненных из предварительно напряженного железобетона и состоящих из сборных элементов, будет, как утверждают авторы проекта, обходиться значительно дешевле, чем конструкция обычных шоссе. Скрытые рельсы, или так называемые «электронные поводыри», проложенные по обеим сторонам электрострады, будут служить для подачи электроэнергии и сигналов автоматического вождения по запрограммированному пути. Машины, пользующиеся электронными поводырями, должны иметь двойное управление — для автоматического передвижения по электростраде и езды на обычных шоссе и городских улицах.

Такая система имеет много преимуществ. Прежде всего — скорость. По электростраде автомобили будут двигаться со скоростью, близкой к 100 километрам в час. Затем — большая пропускная способность дороги. Расстояние между машинами не будет превышать 3 метров. Затем благодаря применению электромоторов удастся частично покончить с загрязнением воздуха. Автомобилистам не придется ждать, пока конструируют специальный тип автомашины, современный автомобиль можно будет без особых затрат и в самый короткий срок приспособить к электрострадам.

Как же будет происходить движение по электростраде? Когда автомобиль приближается к въезду на электростраду, электронное устройство в мостовой проверяет, в каком состоянии находится машина, проводит ее техническую диагностику. При малейших неполадках в машине ее отводят на особый путь. Если же все хорошо, водитель, нажимая кнопку на щитке, дает о себе знать и сообщает электронной вычислительной машине конечный пункт своего путешествия. ЭВМ решает, когда машина может включиться в общее движение, и определяет наиболее выгодный маршрут. Затем по сигналу ЭВМ водитель выключает двигатель и переключает автомобиль на автоматическое управление. Из-под крыла выдвигается контактная штанга, по

которой поступает электроэнергия и сигналы управления движением на электростраде. Машина переходит на главную полосу и вливается в поток движения. ЭВМ сопровождает ее до съезда, ближайшего к месту назначения, и выводит с электрострады. Водитель снова берется за руль.

Возможно, весь этот грандиозный проект останется фантазией. Однако некоторые детали этого проекта стали реальностью уже сейчас. Уильям Олден, инженер из Уэстборо (Массачусетс), сконструировал электромобиль двойного управления. Электромобиль питается от аккумуляторов, вручную управляется на обычных дорогах и автоматически — на электростраде. Для проведения опытов и дальнейшей разработки проекта Олден проложил небольшой отрезок пути, по которому электромобиль может двигаться со скоростью, приближающейся к 100 километрам в час. Свое детище Олден назвал «старкар» — «звездный автомобиль». По его мнению, пропускная способность разработанной им дороги будет в 10 раз превышать обычную, так как благодаря постоянной скорости машины смогут двигаться почти вплотную друг к другу. Если же один из электромобилей по какой-либо причине выйдет из строя, следующий за ним отбуксирует его к ближайшему съезду с дороги.

Второй путь устранения аварий — совершенствование самого автомобиля. Прежде всего автомобиль нужно с высоким качеством изготовить на заводе. Поэтому испытательные станции и цехи испытаний на автозаводах превратились в крупнейшие инженерные службы. В цехе № 61 Волжского автозавода изящные, новенькие «Жигули», только что сошедшие с конвейера, превращают в груды металлолома. На одном из стендов автомат непрерывно открывает и закрывает дверцу не час, не два, а целую неделю. Зато у выпущенного с завода автомобиля дверца в случае аварии сама не откроется (это очень частая причина автомобильных жертв). На огромном вибростенде с электровозбудителями колебаний 40 минут тряски доводят кузов машины до такого состояния, до которого он дошел бы после 200 000 километров пробега. Здесь есть камеры, где автомобиль подвергается воздействию тропической жары и арктического холода, попадает под дождь и борется со снежными заносами, — и все это для того,

чтобы машина была надежной и безопасной в эксплуатации.

В этом деле — деле обеспечения безопасности — не бывает мелочей. Даже окраска автомобиля играет существенную роль. Исследования показали, что светлая окраска автомобиля безопаснее темной. В статистике дорожных аварий на долю светло окрашенных автомобилей приходится 6% случаев, на долю темных — 61%, остальные — на долю двухцветных машин. Как полагают эксперты, водители по-разному оценивают расстояние до приближающегося автомобиля в зависимости от его окраски. Здесь уже — поле деятельности для психолога.

Автомобиль должен быть выпущен с завода без дефектов — это всем ясно. И в то же время изготовление «бездефектного» автомобиля при слабом контроле ОТК может остаться лишь благим пожеланием. В 1972 году признаны негодными и подлежащими ремонту двенадцать миллионов автомобилей, выпущенных американскими компаниями как в самих Соединенных Штатах, так и за границей. Об этом говорится в сообщении министерства транспорта США. Это самое большое число за всю историю американского автомобилестроения. Сомнительное первенство по производству дефектных автомобилей держит корпорация «Форд». 5,7 миллиона выпущенных ею в 1972 году машин имели серьезные конструктивные и производственные дефекты. Не лучше положение и по другую сторону океана. Хозяева автомобильных фирм Японии в погоне за прибылью идут на массовое производство новых моделей автомобилей с явными дефектами. Так, более 24 тысяч автомобилей, собранных фирмой «Тоно ко-чи» с 25 декабря 1972 года по 15 марта 1973 года, признаны неисправными и нуждающимися в ремонте.

Но даже в совершенно исправном автомобиле на идеальной дороге мы не можем чувствовать себя в полной безопасности. Стоит резко затормозить, как возникает опасность удара головой о лобовое стекло или ушиба грудной клетки о рулевое колесо. Для проектировщика, конструктора, испытателя возникают новые задачи обеспечения надежности и безопасности.

В 1956 году шведские инженеры предложили применять в автомобилях ремни безопасности, подобные тем, которыми пристегиваются пассажиры в самолете-

тах. Оказалось, что это нехитрое устройство способно предотвратить 70% смертельных исходов при авариях.

Ремни безопасности уже включены в стандарты на автомобили в Швеции, США, Голландии, ФРГ, Англии, Франции, Швейцарии. Предусмотрены они и на советских легковых автомобилях. Особенно наглядно преимущества ремней безопасности проявляются в тех случаях, когда автомобиль опрокидывается. Это было установлено в специальных опытах с искусственными авариями.

К моделированию аварий теперь прибегают все шире и шире. Моделируют даже полученные пассажирами травмы. Для опытов используются манекены, повторяющие людей по форме, размерам и весу. В манекены вмонтированы специальные датчики, измеряющие нагрузку на отдельные участки тела. В опыте с искусственной аварией автомобиль с манекеном за рулем разгоняется до скорости 100 километров в час и затем налетает на препятствие. Происшествие снимается с разных точек несколькими кинокамерами со скоростью до 500 кадров в секунду.

Чтобы при каждом опыте не уничтожать дорогостоящий автомобиль, фирма «Дженерал моторс» построила так называемые «динамические сани», на которых имитируется столкновение автомобилей при различных скоростях и под разными углами. «Динамические сани» представляют собой салазки, движущиеся по рельсам. С помощью пневматической установки эти салазки приобретают огромное ускорение. Анализ аварии, смоделированной на стенде, производится после просмотра киноленты, заснятой при повышенной скорости.

Аналогичные исследования ведутся и в Италии. Их результатом стала новая модель легкового автомобиля «Пинифарина», показанная на выставке 1973 года в Турине. Отдельным элементам кузова придана различная жесткость (усилены перегородки средней части, и, наоборот, ослаблены передняя и задняя стенки). Верх передней перегородки наклонен вперед, а задней — назад, чтобы при аварии двигатель не попадал в пассажирский салон, а оказался под ним. Корпус лишен каких-либо выступающих деталей как снаружи, так и внутри. Выпуклости стенок салона, расположенные на высоте головы пассажиров, покрыты мягкой или



пружинистой обивкой. В случае аварии двери открываются, но не наружу, как обычно, а скользят по направляющим вдоль кузова, как в поезде метро. Кнопки органов управления, рычаги переключателей, ручки дверей сделаны из гибких материалов. Ветровое стекло при лобовом ударе выпадает только наружу. Кресла снабжены ремнями безопасности.

Конструкторы других фирм (в частности, «Мерседес — Бенц») стремятся изготовить более прочными те части автомобиля, которые защищают пассажира, остальные можно сделать мягче для поглощения удара. Чтобы руль при столкновении не мог вонзиться в грудь водителя, у автомобиля «Пинифарина» рулевая колонка укорочена, а ее верхняя часть сделана телескопической, утапливающейся при ударе. Такой же руль имеют английские машины «Триумф», «Ровер-2000» и новые модели «Москвича» и «Волги».

Большое внимание уделяется конструкции бампера. В большинстве аварий бампер первым принимает на себя удар. Однако весьма сомнительно, что когда-либо удастся создать конструкцию этого устройства, полностью предохраняющую машину и ее пассажиров при столкновениях на скоростях хотя бы в 60—70 километров в час. Но смягчить разрушающую силу удара, растянуть его во времени можно. Для этой цели предлагается большое количество бамперов: пружинных, гидравлических, телескопических, сотовых и др. В одной из конструкций бампер укреплен на коробчатом стальном основании посредством двух спиральных пружин и рассчитан на удар при скорости 25 километров в час. Фирма «Крайслер» предлагает бампер, автоматически выдвигающийся на 30 сантиметров при скорости свыше 40 километров в час. Он предохраняет пассажиров при столкновениях на скорости до 75 километров в час.

Оригинальное решение проблемы безопасности движения предлагает профессор Манфред фон Арденне (ГДР). Предложенная им конструкция автомобиля отличается тем, что шофер и пассажиры сидят не лицом в направлении движения, как обычно, а спиной. За их спинами расположена так называемая «копна сена» — мощный губчатый пластмассовый амортизатор, который спасает экипаж при аварии, как бы ни был силен толчок. Оптическая и телевизионная система полного

обзора лежащей впереди дороги и местности дает возможность шоферу управлять машиной, не испытывая никаких затруднений.

Профессор Арденне утверждает, что если его машина на скорости в 140 километров в час врежется в препятствие, пассажиры и шофер не только останутся живы, но довольно легко перенесут толчок от страшного удара.

В комплексе проблем, решаемых наукой о надежности для обеспечения безопасности движения, не последнюю роль, видимо, играет и собственная надежность автомобиля.

Сколько может проработать автомобиль? Это, конечно, зависит от очень многих причин — от типа машины, характера ее использования, от ее обслуживания и эксплуатации. Каждый, кто проектирует, изготавливает или эксплуатирует автомобиль, вносит свой вклад в удлинение или укорочение срока его жизни. Таким образом, чтобы продлить жизнь автомобиля, необходимо сотрудничество ученых, автостроителей и эксплуатационников.

В настоящее время моторесурс (пробег без капитального ремонта) самого распространенного в нашей стране грузовика ЗИЛ-130 составляет 180 тысяч километров. Довести его величину до 300 тысяч километров — такую задачу поставили перед собой коллективы автозавода имени Лихачева, Главмосавтотранса и Центрального научно-исследовательского автомобильного и автомоторного института (НАМИ). О том, что это значит для народного хозяйства, говорит Герой Социалистического Труда, начальник Главмосавтотранса И. Гоберман: «Увеличение пробега ЗИЛ-130 до 300 тысяч километров исключает один капитальный ремонт каждого автомобиля за срок его службы. На каждую тысячу ЗИЛов это даст 1,3 миллиона рублей экономии. Представим себе, что существующая норма пробега сохраняется. Тогда Москве понадобилось бы увеличить производственные мощности завода АРЗ-5 на 70 процентов, а численность его рабочих — на 600 человек. Только на расширение завода пришлось бы затратить около 5 миллионов рублей».

Каким же образом предполагают решать эту задачу? Ученые НАМИ разработали новые поршни — они служат почти вдвое дольше, чем обычные. Разрабо-

таны новые воздухоочистители, которые намного снизили износ деталей цилиндров поршневой группы.

Автомобилестроителям придется решить и «задачу дьякона» — уравнять ресурс ходовой части машины с ресурсом двигателя. Надежнее должны стать коробка передач, карданный вал, сцепление. Не остаются в долгу и эксплуатационники: к 1975 году в Москве будут действовать около 100 поточных линий технического обслуживания автомобилей. Семь диагностических участков помогут быстро отыскать и устранить неисправность. Места стоянок автомобилей оборудуются воздухо- и газоподогревом — ведь износ двигателя при запуске холодного двигателя равнозначен износу при 100 километрах пробега.

Итак, скоро ЗИЛ-130 будет ходить 300 тысяч километров без капитального ремонта. А на очереди уже следующая задача — довести пробег машины до «космического» — 600 тысяч километров.



## СТИХИЯМ НЕ ПОДВЛАСТЕН

Чем выше человек восходит в познаниях, тем страннейшие открываются ему виды.

*А. Н. Радищев*

*Решив новые проблемы, человек, наконец, научился обуздывать свои технические творения, они подчинились ему. Но бесконечна спираль познания, практика ставит новые задачи. Человеку, обуздавшему вещи, противостоят стихии, губящие и их, и самого человека. Обретет ли человек подобающий ему оптимизм в грозном мире стихий? Не вольются ли новые науки, например строительная сейсмология или инженерная метеорология, в широкое русло науки о надежности? Сможет ли человек ввести укрощенные стихии в свои планы или учесть необузданные порывы природы в предсказании будущего?*

## ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И СЕЙСМОЛОГИЯ

Ранним зимним вечером четырнадцатилетняя Элен Айриш сидела с двумя подружками на пристани маленького аляскинского порта Валдез. Девочки смотрели, как разгружали пароход.

«Вдруг вся земля начала трястись,— вспоминает Элен.— И тряслась все сильнее и сильнее». С криком девочка бросилась домой — их дом стоял метрах в ста от пристани. «Земля раскалывалась,— рассказывает она,— и на каждом шагу я падала в образовавшиеся трещины. Канализационные трубы перед нашим домом лопнули, и мне пришлось пробираться по поясу в жидкой грязи».

Много лет спустя Элен с дрожью вспоминала пережитое: «Я оглянулась и увидела, как волна подхватила пароход и бросила его, словно игрушечный, с которым я играю в ванне. Двухэтажное здание склада взлетело в воздух и с грохотом рухнуло в воду. Все в панике бежали из гавани, но волны настигали их, и десятки людей исчезали в море. Исчезали навсегда».

Никогда не забудут аляскинцы тот страшный мартовский день 1964 года, когда землетрясение всколыхнуло южную часть полуострова. Дорого обошлось оно Аляске: 115 погибших и на 538 миллионов долларов разрушений.

8 августа 1868 года погиб чилийский город Арика. Во время землетрясения в порту стояло американское военное судно «Уотери», лейтенант которого Биллингс

описал эту катастрофу. Вот что он рассказал впоследствии об этом одном из крупнейших зарегистрированных землетрясений:

«Около четырех часов дня мы с капитаном сидели в каюте. Внезапно мы вскочили: судно вибрировало, словно с него спускали якорь и цепь стучала в якорном клюзе. Зная, что этого не могло быть, мы выбежали на капитанский мостик. Наше внимание тотчас же привлекло густое облако пыли, которое ползло с юго-востока. Одновременно непрерывно усиливался устрашающий грохот. Перед нашими изумленными глазами холмы, казалось, качались, а поверхность грунта колебалась, словно по ней бежали в беспорядке короткие и прерывистые волны, как на море при сильном волнении.

Надвинувшееся облако окутало Арику. В то же мгновение сквозь его непроницаемую завесу донесли крики о помощи, грохот рушащихся зданий и тысячи разноголосых смешавшихся звуков пораженного стихийным бедствием города. Тем временем наш корабль стал неистово трястись, словно под действием какой-то гигантской силы. Потом облако поползло дальше.

Пыль постепенно рассеивалась, и мы смотрели на берег, не в силах поверить собственным глазам. На месте, где несколько мгновений назад лежал процветающий город, мы увидели одни только груды развалин, в которых барахтались получившие менее тяжелые увечья люди из числа тех несчастных, кто пострадал от обломков своих же собственных жилищ. Воздух содрогался от криков, воплей, призывов на помощь под немилосердно палящими лучами солнца, ярко сияющего на безоблачном небе.

Опасаясь приближения цунами, мы обернулись в сторону открытого моря. Но оно было безмятежно спокойным, и можно было подумать, что те четыре или пять минут, которые нам пришлось пережить, и зрелище страшного опустошения, оставшееся на мгновение у нас за спиной, были лишь кошмарным сновидением. Из предосторожности капитан все же отдал приказ спустить запасные якоря, закрыть люки, закрепить пушки, натянуть спасательные веревки.

Тем временем на суше оставшиеся в живых после катастрофы люди сбегались к берегу и, столпившись

на небольшом причале, умоляли команды судов помочь им извлечь из-под невероятного нагромождения обломков своих близких и перенести их на корабли, стоявшие на якоре, которые, казалось, находились вне опасности. Этого мы уже не могли выдержать, и шлюпка, в которую село тринадцать человек команды, тотчас же отчалила от судна. Достигнув берега, весь экипаж высадился, и в лодке остался для охраны только один матрос. Мы же на борту стали спешно собирать для отправки на сушу отряд в сорок человек, вооружив их лопатами, кирками. В это время наше внимание привлек глухой рокот. Взглянув на берег, мы, к своему неопишуемому ужасу, обнаружили, что на том месте, где на мгновение раньше находился черневший от толпы людей причал, больше не было ничего: в один момент все было поглощено внезапно нахлынувшим морем. На корабле же этот прилив моря никто не заметил. Одновременно мы увидели шлюпку с матросом, с неудержимой силой увлекаемую морским валом прямо к высокому отвесному утесу Моро. Волна разбилась о скалу, и шлюпка с матросом исчезла в белой пене.

В это же мгновение произошло новое сотрясение, сопровождавшееся на берегу ужасающим гулом, длившимся несколько минут. Мы снова увидели, как по земле стали справа налево двигаться волны. На этот раз море отхлынуло так далеко, что наш корабль сел на мель. Дно океана обнажилось, и перед нашими глазами открылось нечто, никогда прежде не виденное: на дне бились рыбы, шевелились морские животные. Суда с округлым корпусом легли на борт, но наш «Уотери» опустился прямо на свое плоское дно. Море снова нахлынуло, но не одиночной волной, а каким-то гигантским приливом, и корабли наших несчастных товарищей перевернулись вверх килем, тогда как наш «Уотери» всплыл невредимым на бурной воде.

С этого момента морская стихия, казалось, бросила вызов всем законам природы. Стремительные течения таскали наш корабль в самых различных направлениях. Мы неслись со скоростью, какой в другое время ни за что не могли бы достичь, даже если бы шли самым полным ходом. Земля через неравные про-



межутки времени продолжала содрогаться, однако с каждым разом все слабее и не так долго.

Перуанский броненосец «Америка», считавшийся в то время одним из самых быстроходных судов в мире, все время держался на поверхности, как и американский корабль «Фредония». Пытаясь уйти в открытое море до наступления низкой воды, броненосец пустил полным ходом все машины, однако задел за дно, и корпус корабля получил пробоину. Тем временем течение подхватило корабль и стремительно погнало его к берегу. С извергающими густой черной дым трубами корабль, казалось, мчался на помощь лишенной всякого управления «Фредонии», которую с неудержимой силой несло к обрывистым скалам Моро. Полагая, что «Америка» действительно спешит к ним на помощь», капитан «Фредонии» Дайер подбежал к корме и крикнул людям на корабле, находившемся на расстоянии всего нескольких метров: «Эй! Вы нам ничем не можете помочь, корабль дал течь. Спасайтесь сами! До свидания!» Спустя мгновение «Фредония» разбилась о скалы в щепки, и ни один человек из команды не спасся. Одновременно каким-то чудом обратное течение подхватило перуанский корабль и увлекло его в другом направлении.

Прошла часть ночи, когда раздался крик вахтенного, сообщившего о приближении приливной волны. Вглядываясь в темноту, мы сначала заметили тонкую светящуюся полоску, которая, казалось, вздымалась все выше и выше прямо к небу. Гребень волны, увенчанный зловецким фосфоресцирующим сиянием, бросал сверху свет на страшную толпу черных водных масс. Возвещая о своем приближении тысячеголосым ревом, сливающимся с громовыми раскатами прибоя, приливная волна, появления которой мы с ужасом ждали в течение многих часов, наконец, обрушилась на нас.

Из всех выпавших на нашу долю кошмарных испытаний эта волна, казалось, была самым страшным. Мы были прикованы ко дну якорными цепями и не могли спастись бегством. Мы приняли все меры предосторожности, какие только были в человеческих силах, и теперь нам не оставалось ничего другого, как смотреть на приближение чудовищной волны. Лишенные какой-либо надежды на то, что судно сможет пройти сквозь

толщу стремительно надвигающейся водяной горы, грозящей раздавить его, мы могли только крепче вцепиться в поручни и ждать конца.

С оглушительным ревом волна поглотила наш корабль, захлестнув его массами воды и песка. Мы оставались под водой в течение некоторого времени, показавшегося нам бесконечным. Затем, глухо кряхтя всем корпусом, наш старый крепкий «Уотери» выбрался на поверхность вместе со всем своим экипажем, задыхающимся и продолжающим цепляться за поручни. Несколько человек было тяжело ранено, никто не убит, все оказались на борту. Это было настоящим чудом, и я сам до сих пор не могу в него поверить.

Не подлежит сомнению, что своим спасением мы обязаны особой конструкции и форме корабля, благодаря которым вода стекала с палубы почти с такой же быстротой, как с плота.

Со страшной стремительностью течение увлекло наш корабль за собой, но вскоре он остановился. Подождав немного, мы, наконец, спустили за борт фонарь. Оказалось, судно прочно село на мель. Где? Этого мы не знали. Волны еще несколько раз ударяли о наш корабль, но уже гораздо слабее, а затем прекратились совсем. Некоторое время мы оставались на своих постах, но так как корабль стоял неподвижно и ничего нового не произошло, измученной команде был отдан приказ спуститься вниз и спать в гамаках.

Взошло солнце и озарило картину такого страшного опустошения, какое не часто приходится наблюдать. Мы находились на суше в пяти километрах от нашей якорной стоянки и в трех километрах от берега. Волна с невероятной быстротой перенесла наш корабль через песчаные дюны, окаймляющие берега, через долину за железную дорогу, ведущую в Боливию, бросив его у подножия берегового хребта Кордильер. На почти отвесной скале мы обнаружили следы ударов приливной волны: это было на высоте 47 футов... Если бы волна пронесла нас еще футов на 200 дальше, то корабль разбился бы об отвесную гору.

Возле нашего корабля валялись обломки большого трехмачтового английского судна «Ванаселиа». Одна из якорных цепей обмогалась вокруг него во всю свою длину — значит, корабль неоднократно переворачивался от кормы к носу. Немного поодаль, по направ-

лению к морю, лежал накренившийся на борт и получивший пробоины броненосец «Америка».

Сам город исчез. На его месте простиралась однообразная песчаная равнина. Кроме прилепившихся к горе пригородов, ни один дом не указывал места, где прежде находился город Арика. Все здания, сложенные из пустотелых глиняных кирпичей, именуемых «адоби», рухнули от подземных толчков, а затем море смыло обломки. В пригородах, расположенных выше достигнутого морем уровня, мы пробирались среди ужасающего нагромождения обломков высотой шесть — десять метров, где все перемешалось, включая и трупы людей. Из 10 или 15 тысяч жителей, насчитывавшихся в Арике, осталось в живых едва ли несколько сотен несчастных».

Неисчислимы жертвы землетрясений. В Китае в 1290 году погибло 100 000 человек, в 1556 году — 830 000; в Калькутте в 1737 году — 300 000, в Лиссабоне в 1755 году — 60 000. По подсчетам некоторых специалистов, за последнюю тысячу лет от землетрясений и извержений вулканов погибло от 3 до 5 миллионов человек.

Какие таинственные силы время от времени взрывают поверхность нашей планеты с силой тысяч водородных бомб? Будет ли человек всегда только жертвой в слепой игре грозных стихий? Можно ли предотвратить стихийное бедствие или хотя бы уменьшить число жертв, устранив его внезапность?

Каждый год в разных точках нашей планеты происходят сотни тысяч землетрясений. К счастью, большинство этих подземных толчков незаметно, и только высокочувствительные приборы фиксируют их. На Земле есть так называемые сейсмические районы, где землетрясения повторяются довольно часто, — Япония, Иран, Турция, Чили, Греция, Перу, Аляска, Калифорния, Колумбия, Мексика, Центральная Америка. Есть сейсмически опасные зоны и у нас. Это Камчатка, Кавказ, Крым, Карпаты. Часто бывают землетрясения в районе озера Байкал, где до сих пор происходит геологическое формирование озера — меняется береговая линия, опускается дно. Бывают землетрясения и в среднеазиатских районах, где расположены Ташкент, Душанбе, Ашхабад. Особенно сильным оказалось землетрясение в Ташкенте в апреле — июне 1966 года.

Землетрясения страшны своей неожиданностью. Поэтому ученые-геофизики всего мира стараются выведать тайны Земли и дать ответ, как предсказать землетрясения.

В лабораториях и на геофизических станциях, на исследовательских судах они ведут изыскания, стараются заглянуть в недра планеты, сопоставляют свои работы с трудами коллег. Геофизик, как врач стетоскопом, прослушивает Землю, регистрирует биение ее пульса, отмечает каждое колебание.

В тех местах, где разрушительные землетрясения происходят особенно часто, изучаются даже самые незначительные колебания почвы; с этой целью в электронные машины вводят множество данных с сейсмографов. Японские ученые предложили новый метод прогнозирования землетрясений. По их расчетам сейсмограф, опущенный в шахту на глубину около 9 километров, сможет заранее предупредить об опасности. Прибор связан кабелем с радиопередатчиком. Когда в результате сложных процессов, происходящих внутри Земли, жидкая лава и газы начинают искать выхода на поверхность, они с большой силой давят на глубинные слои земли. Возникшие в результате этого колебания улавливаются сейсмографом. Радиопередатчик начинает работать, посылая сигнал об опасности.

Чтобы осуществить проект японских ученых, нужно преодолеть ряд трудностей. Главная из них — достичь глубины 9 километров. Правда, работу эту можно облегчить, если вести бурение в океане. Тогда придется бурить только на глубину 3—4 километров, но при этом тоже возникают большие технические сложности.

После упоминавшегося аляскинского землетрясения было положено начало обширной программе по изысканию способов предсказания этих стихийных бедствий.

Различными странами были предложены программы по изучению землетрясений, рассчитанные на десять лет. Ученые занялись интенсивным изучением и обследованием районов сейсмически активных разломов и разработкой технических мероприятий для уменьшения катастрофических последствий землетрясений. Свои исследования американские ученые скон-

центрировали на разломе Сан-Андреас, а советские — в горах Таджикистана и на Камчатке.

Вдоль границ разрыва Сан-Андреас установлено десять геофизических станций, оборудованных высокочувствительными приборами — лазерными интерферометрами, наклономерами, деформографами. Эти приборы замеряют самые незначительные деформации поверхности Земли. Чувствительные сейсмографы регистрируют самые слабые микротолчки. Используются также магнитометры и гравиметры, так как установлено, что перед сильными землетрясениями происходят аномальные изменения магнитных и гравитационных полей.

Советские геофизики в Таджикистане и на Камчатке вот уже в течение нескольких лет изучают новый метод предсказания землетрясений с помощью наблюдений за изменением соотношения между скоростями распространения продольных и поперечных сейсмических волн по данным микроземлетрясений, регистрируемых местной сетью сейсмографов. Советские исследователи констатировали, что недалеко от Ташкента нормальное соотношение между этими скоростями составляет 1,75. Они обратили внимание на тот факт, что в течение месяца, предшествовавшего землетрясению, эта цифра была меньше в среднем на 10%, но увеличилась по сравнению с нормой за 24 часа до начала подземных толчков.

Все человечество подвержено опасности землетрясений, и поэтому сейсмические исследования ведутся ныне в международном масштабе. Более 1200 сейсмических станций разбросано по земному шару, причем в самых разных районах. Землетрясения, происходящие в глубинах Мирового океана, вдалеке от обитаемой суши, тоже приводят к большим разрушениям. Эти разрушения наносятся их порождением — гигантскими приливными волнами цунами, несущимися по океану со скоростью до тысячи километров в час.

Приливные волны, разрушившие в 1946 году часть города Хило на Гавайях, были следствием подводного толчка в районе южнее Алеутских островов. Волны, следовавшие одна за другой с интервалом в 150 километров, катились по Тихому океану со скоростью 800 километров в час. Первая волна достигла Гавайских островов через четыре с половиной часа после

толчка. У пологих берегов архипелага волны вздыбились, образуя гребни высотой до 16 метров. Обрушившись на город Хило, они уничтожили жилые дома и общественные здания, как спичечные коробки разбросали железнодорожные вагоны, суда и автомашины, отбросили один пролет железнодорожного моста на 275 метров в глубину острова, засыпали песком дороги и смыли пляжи. Эта катастрофа унесла 159 человеческих жизней.

Приливные волны наносят огромный ущерб. Американский специалист по землетрясениям Николас Хек изучил 270 крупных приливных волн, зарегистрированных за последние 200 лет. Одна из самых больших волн обрушилась на северную часть Японии 15 июня 1896 года. Результаты были страшные: 27 000 погибших и 10 000 разрушенных жилищ. Высота волн доходила до 30 метров. Но, пожалуй, ничто не может сравниться с волной, налетевшей на южную оконечность Камчатки 6 октября 1737 года: у мыса Лопатка высота волны достигла 60 метров! Цунами 1952 года смыл на Курилах целый город — Южно-Курильск.

Цунами дает время для эвакуации, если только во время определить подводный толчок. Поэтому метеорологические службы тех районов Японии, США, Канады и СССР, куда цунами приходят часто, разработали систему, предупреждающую о его приближении: в сотнях этих пунктов установлены сейсмографы. Сейсмологи смогут предупреждать об опасности и поднимать тревогу через 10 минут после обнаружения подводного толчка вместо 30—40 минут, требовавшихся до введения новой системы. Эти 20—30 минут, учитывая огромную скорость движения цунами, могут спасти много человеческих жизней.

В не столь отдаленном будущем ученые, по-видимому, смогут предсказывать землетрясения, смогут уточнить месторасположение будущего очага, его энергию и даже время первых толчков. Ученые СССР, США, Японии не сомневаются в окончательном успехе, который будет достигнут на основе все больших знаний о жизни Земли и все большей точности измерительных приборов. Но какие можно принять меры, если землетрясение ожидается в развитом густонаселенном районе? Удастся ли заранее эвакуировать миллионы жителей, вывезти материальные ценности? Подсчитано:

землетрясение, подобное тому, что произошло в Сан-Франциско в 1906 году, причинит сегодня ущерб на сумму в 4,5 миллиарда долларов.

Существует предположение о возможности предотвращения этих стихийных бедствий с помощью искусственных землетрясений.

Подземные взрывы, проводившиеся людьми, в некоторых случаях приводили к сильным подземным толчкам. Поэтому сейсмологи пришли к мысли о возможности использования небольших искусственно вызываемых землетрясений, которые помогут «разрядить» напряжения подземной стихии и предотвратить катастрофические подземные толчки. Некоторые говорят даже о возможности применения для этой цели подземных ядерных взрывов.

Однако исследования идут и по менее дорогостоящему пути. Оказалось, например, что закачивание воды в почву с целью «выжимания» из нее нефти на нефтепромыслах в штате Колорадо (США) привело к небольшим землетрясениям. Американские исследователи продолжают свою программу исследований на этих промыслах «в натуральную величину» и на моделях, чтобы понять зависимость между давлением жидкости на пласт и сейсмичностью.

Возможно, это перспективный путь предупреждения землетрясений. Однако в настоящее время есть еще более надежный способ ослабить катастрофические последствия этих стихийных бедствий. Для этого необходимо использовать сейсмостойкие конструкции зданий в районах, подверженных землетрясениям. Известно, например, что удачно и правильно построенные и небоскребы, и небольшие жилые дома способны противостоять сильным подземным толчкам. Это показало и землетрясение в Ташкенте, где основные разрушения пришлось на долю домов, выстроенных без учета сейсмичности. Девятибалльные землетрясения на Камчатке принесли Петропавловску лишь незначительные разрушения.

Проектирование и строительство сейсмостойких зданий ненамного удорожают строительство: всего на 3—5%. Нельзя с уверенностью сказать, что эти меры позволяют полностью избежать человеческих жертв, но ясно одно: они значительно сократят потери.

По словам одного американского сейсмолога, «не

землетрясения убивают людей, их убивают здания, построенные людьми».

27 августа 1883 года в 10 часов утра произошел взрыв вулкана Кракатау. Вулкан и остров взлетели на воздух. Грохот взрыва был слышен за 5000 километров от Зондского пролива. Гигантская морская волна — цунами, образовавшаяся в результате взрыва, унесла 35 000 жизней на островах Суматра и Ява.

Последняя вулканическая катастрофа в Индонезии произошла сравнительно недавно. В марте 1963 года начал извергаться вулкан Агунг на острове Бали. Более 1200 человек погибло при этом извержении, свыше 100 000 человек были вынуждены бросить свои дома и спастись бегством.

В 1902 году катастрофа постигла город Сен-Пьер на острове Мартиника. В результате извержения вулкана Мон-Пеле в одно мгновение было унесено 30 000 человеческих жизней.

Много бед принесли итальянцам Везувий и Этна. Извержение Везувия в 79 году было описано знаменитым ученым древности Плинием Старшим. В результате извержения три цветущих города — Помпея, Геркуланум и Стабия были похоронены под потоками вулканической грязи. При катастрофическом извержении 1960 года много человеческих жизней было унесено грязевыми потоками.

Подсчитано, что с 1500 года до наших дней на земном шаре от вулканических извержений погибло около 200 000 человек.

Как бороться с этим коварным врагом? Попытки такой борьбы известны. В 1935 году бомбардировка кратера вулкана Мауна-Лоа на Гавайских островах отклонила лавовые потоки и спасла от гибели небольшой город Хило. К сожалению, таких примеров единицы. Пока что единственная возможность сократить размеры бедствия — это предсказать его и принять необходимые меры.

В этом направлении сделано уже немало. Все вулканы Земли «взяты на учет» и подробно исследуются вулканологами — людьми необычной и мужественной профессии, для которых кратер действующего вулкана стал уже привычным рабочим местом.

По утверждениям ученых, у каждого вулкана свой «темперамент». Некоторые уснули навсегда. У других



«характер» спокойный. Есть очень активные. Один из таких вулканов — Парикутин в Мексике — родился прямо на глазах человека на совершенно ровном месте. Крестьянин, обрабатывающий свое кукурузное поле, неожиданно заметил в земле отверстие, из которого шел дым. Он попытался заложить дыру камнем, но тщетно. Дым и искры валили из отверстия все сильнее. В тот же день к вечеру произошел первый взрыв. Новорожденный вулкан рос очень быстро, уже через неделю на бывшем кукурузном поле возвышалась гора шлака высотой 100 метров. Через год ее высота достигла 360 метров, а затем вулкан прекратил свою деятельность. Надолго ли?

Для предсказания извержений создаются вулканологические станции. Они оснащаются сейсмографами, улавливающими самые незначительные колебания земной коры, наклономерами, которые позволяют улавливать наклоны, соответствующие изменению высоты на 1 миллиметр на расстоянии 5 километров, и другими высокочувствительными приборами. С помощью таких приборов было предсказано, например, извержение вулкана Килауэа на Гавайских островах. Вот как это происходило.

В конце 1958 — начале 1959 года приборы показали, что вся местность вокруг кратера вздувается. Так было отмечено поднятие магмы. В августе вздутие прекратилось, но разразился целый каскад толчков. Затем вершина вулкана вновь стала вздуваться. Днем 14 ноября начались все более частые толчки, магма пробивала себе путь через последние сотни метров верхних слоев земной коры. Около 8 часов вечера лава вырвалась наружу. Извержение продолжалось ровно неделю и прекратилось, когда излилось около 40 миллионов кубометров лавы. Тем не менее приборы показывали вулканологам, что процесс еще не закончен: вулкан снова стал вздуваться, опять начались толчки. Новый поток лавы вытекал три недели. Объем излившейся лавы достиг по расчетам 133 миллионов кубометров. И все же наблюдение за приборами показывало, что конец извержения еще не наступил. В конце декабря было зарегистрировано множество небольших толчков в стороне от главного кратера. Стало ясно, что произойдет боковое извержение, угрожающее поселкам Капохо и Коас. Население было немедленно эвакуиро-

вано. 13 января произошло гигантское извержение, но 200 миллионов кубометров лавы погребли уже пустынные поселки.

Шесть месяцев длилось извержение, и все это время приборы совершенно точно отмечали все стадии этого процесса. Более того, они позволяли прогнозировать новые явления, оповещали о них.

В 1947 году в Японии с помощью наклономеров была предсказана возможность извержения вулкана Асама и его сила. Население удалось эвакуировать.

В 1973 году «проснулся» вулкан Мерани на Яве. Были произведены необходимые приготовления для срочной эвакуации населения, что позволило избежать трагедии.

Большие работы проводят советские ученые в одном из вулканически активнейших районов Земли — в районе Камчатско-Курильской гряды. Правда, за последние 200 лет в этом районе в результате извержений погибло лишь 17 человек, что связано, конечно, не столько с «мирным» нравом здешних вулканов, сколько с малой плотностью коренного населения. Сейчас население Камчатки очень быстро растет. Но грозят ли камчатские вулканы катастрофой? Нет, потому что ученые могут с уверенностью предсказать извержение, предвидеть его последствия и заранее принять необходимые меры.

Человек оптимистично оценивает свои возможности в борьбе с такой «случайностью», как землетрясение. И сравнительно небольшой в мировом масштабе факт — строительство метрополитена в недавно подвергшемся сильнейшему землетрясению Ташкенте — лучшее тому подтверждение.

## УКРОЩЕННЫЕ УРАГАНЫ?

Несмотря на то, что землетрясения и извержения вулканов — самые страшные явления природы, с ними вполне могут поспорить по тяжелым последствиям и другие силы стихий. Речь пойдет о мощных ураганах, опустошающих время от времени некоторые океанские побережья. По своему пагубному воздействию на инженерные сооружения они никак не уступают земле-

трясениям, особенно если учесть, что крупные землетрясения бывают раз в несколько десятков лет, а мощные ураганы — несколько раз в год. Недаром ураганы называют самой мощной силой в природе.

Энергия урагана в тысячи раз превышает энергию крупнейших водородных бомб. Когда американцы взорвали на атолле Бикини водородную бомбу, в воздух были подняты десять миллионов тонн воды. Ураган в Пуэрто-Рико поднял в небо два с половиной миллиарда тонн воды. Не удивительно, что урагану легко сыграть шутку типа той, что была проделана в октябре 1960 года у побережья Восточного Пакистана. Ураган был самым свирепым в этих местах за последние 70 лет, скорость ветра достигала 220 километров в час. Английский пароход «Клан Алпайн» водоизмещением 10 000 тонн не успел укрыться в порту. На следующее утро моряки с удивлением обнаружили, что судно находится на суше, примерно в километре от моря. Несмотря на отсутствие повреждений, судно так и не смогло вернуться в море и было продано на слом. Но этой скорее забавной, чем печальной историей далеко не исчерпываются беды, которые приносят ураганы. «Великий ураган» 1780 года унес на Вест-Индийских островах 20 000 жизней. А вот сообщение от 5 апреля 1973 года: «Над Западной Европой пронесся ураган огромной силы». Этот ураган со скоростью 180 километров в час промчался по Центральной Европе. В ФРГ, Нидерландах и Англии погибли 10 человек, многие сотни получили увечья, отправлены в больницу. Материальный ущерб, нанесенный ураганом, не поддается точному подсчету — во всяком случае речь идет о миллиардах, в какой из западноевропейских валют их не измеряй. В Дортмунде серьезно пострадал металлургический комбинат, две из трех его доменных печей вышли из строя.

Европейцы впервые познакомились с ураганами еще в те времена, когда каравеллы Колумба исследовали побережье Антильских островов. Недаром моряки видели «страшное чудовище» на волнах, по морскому поверью признак наступающего страшного урагана. Ураган разметал в 1502 году в проливе Мона между Эспаньолой и Пуэрто-Рико набитые золотом и шедшие в Испанию корабли.

Сам Колумб столкнулся с ураганом в 1503 году,

плавая в южной части Карибского моря. Вот как описал он это неизвестное для него прежде явление: «Поднялась буря и утомила меня настолько, что я не знал, куда деваться. Мои старые раны открылись, и я девять дней испытывал тяжкие мучения, не надеясь остаться в живых. Никогда еще глаза мои не видели валов столь высоких и грозных, увенчанных пенными гребнями. Ветер не только мешал нашему продвижению, но и не позволял нам уйти за мыс, чтобы укрыться от непогоды; поэтому приходилось штормовать в этом треклятом океане, кипевшем, точно котел на жарком огне. Никогда еще небо не выглядело таким зловеющим; однажды весь день и всю ночь оно пылало словно пламя горнила, а молнии извергались с такой яростью, что всякий раз мне казалось, будто паруса уже разорваны в клочья. Вспышки следовали одна за другой и были грозными и ужасными, мы были уверены, что корабли взлетят в воздух. И все это время с неба беспрестанно падали потоки воды. Это был не дождь, а сущий потоп. Люди были настолько измучены, что ждали смерти, которая положила бы конец их чудовищным страданиям».

От индейцев Колумб узнал, что «сердитый ветер», дувший со стороны восходящего Солнца и разрушающий все на своем пути, называется «хуракан» или «хунракан». Хунракан был богом древних майя.

Раз в году майя избирали прекрасную девственницу, поклонялись ей, выполняли любые желания, но не радовалась этому девушка. Знала, что придет время и будет брошена она в необычайно глубокое озеро, чтобы умилостивить могущественного бога дождей Хунракана. Знала и то, что бросится за ней в колодец, чтобы сопровождать ее к Хунракану, самый красивый, сильный и смелый молодой воин и будут брошены вместе с ней в глубокие таинственные воды слитки золота и драгоценные камни.

Ничто не могло ее уже спасти, и в означенный час приносилась она с великими церемониями в жертву богу Хунракану.

Особенно злобен бывал Хунракан в конце лета. Перед его появлением на небе курились всегда какие-то особенные облака, затем день — два воздух был невиданно чистым, свежим и прозрачным. А уже потом —

страшные тучи, несущие с необычайной скоростью потоки ливня...

Священнослужители майя пытались по-своему предсказать наступление ураганов — они кидали золу в сосуд с водой, наблюдали, куда ползут мохнатые гусеницы, заталкивали в рты новорожденным гладкие камешки, прислушивались к стуку дятла и крику чайки...

Может быть, и было здоровое зерно во всех этих действиях, наверняка отбраковка неподтвердившегося привела к каким-то правильным выводам. И тем не менее изобретение учеником Галилея Эванджелиста Торричелли барометра дало морякам несравненно более точное оружие, чем то, которым вооружили себя древние предсказыватели ураганов.

Оказалось, что снижение давления является весьма надежным признаком наступающего урагана. Но многие долго еще не верили этому.

В 11 часов 20 минут утра 6 сентября 1900 года старший сотрудник метеорологической станции в Галвестоне, на восточном побережье Америки, Айзек Монро Клайн заметил падение атмосферного давления. Он сразу же связал это явление с сообщениями о том, что в Карибском море, в двух с половиной тысячах километров от Галвестона, несколько дней назад образовался ураган незначительной силы. Клайн внимательно следил за телеграфными депешами о движении этого урагана и зорко усмотрел, что он неумолимо приближается к Галвестону. Метеоролог вывесил флаг опасности, который никто не заметил.

Клайн сел на велосипед и стал объезжать город, жители которого собрались на набережной и наблюдали за особенно большими волнами. Клайн убеждал всех подняться на безопасные высоты, уйти из домов, первые этажи которых всего лишь на несколько метров возвышались над уровнем океана. Но странные слова Клайна казались гласом вопиющего в пустыне.

Клайн вернулся в бюро погоды и заметил, что столбик ртути в барометре опустился до 747 миллиметров. Вода, по сообщениям, поднималась со скоростью 40 сантиметров в час.

А вскоре на город обрушился страшнейший ураган. Вот как описан он Томасом Хелмом в книге «Когда бушуют стихии»:

«К восьми часам нижняя часть города оказалась под слоем воды от трех до пяти метров. Якорные цепи, швартовы судов, стоявших в гавани, лопнули и суда оказались во власти ветра и волн. Когда порой вспыхивала молния, она освещала невероятно жуткую картину: огромные океанские пароходы раскачивались среди зданий, через которые перекачивались гигантские валы».

Приблизительно в 7 часов 30 минут утра Клайн стоял у двери и вглядывался в кромешную тьму ночи, наполненную воем. Вода заливала пол и доходила уже до щиколоток. Внезапно со стороны моря появился гигантский вал. Не успел Клайн отвернуться, как волна поднялась чуть не до самых его плеч. Клайн понял, что Галвестон подвергся штормовому наводнению: уровень воды повысился на 6 метров.

В следующую минуту от сильного удара затрясся весь дом. Затем последовал толчок и раздался треск: сорванные с фундаментов дома, огромные груды обломков били по дому с восточной и юго-восточной сторон. Огромные бревна, словно тараны, колотили в стены здания.

Сначала удары были редкими, потом они участились, и вскоре здание стало разваливаться и рухнуло в бушующие волны.

Незадолго до полуночи люди, которым удалось достичь наиболее высокой части города, обратили внимание на то, что вода стала убывать. Приливная волна покинула город еще стремительнее, чем набросилась на него. В отдельных местах она мчалась по улицам со скоростью горного потока и производила еще больше разрушений и губила больше людей, чем во время наступления.

Позднее в официальном докладе Айзек Клайн писал: «То, что увидели жители города в воскресенье 9 сентября 1900 года, представляло собой ужасное зрелище, какого до сих пор не видел цивилизованный мир».

Повсюду были следы страшной трагедии. Повсюду была смерть. Мертвые люди, лошади, коровы, собаки лежали рядами или поодиночке. Развалины некогда стоявшего здесь города, покрытые толстым слоем грязи и слизи, издавали невыносимое зловоние.

Ураганом, обрушившимся на Галвестон, было унич-

тожено более 6 тысяч людей. Практически весь город был разрушен.

Когда были сброшены в прозрачные воды Мексиканского залива погибшие, когда очистили грязь и разобрали разрушенные здания, перед жителями города встал вопрос: «Что делать дальше? Как быть, если грянет новый ураган?»

Жители города потребовали от чиновников городского управления сделать дамбу для защиты их домов от вод Мексиканского залива. Было рассмотрено с десятков планов. В конце концов решено было строить дамбу и одновременно приподнимать город. Жители города потрудились на совесть и воздвигли со стороны залива грандиозное инженерное сооружение. Ширина дамбы у основания достигала 5 метров. Со стороны залива ее, кроме того, защищал восьмиметровый слой каменной наброски. Высота дамбы составляла пять с половиной метров и на такую высоту были подняты все здания города.

До сих пор на Галвестон обрушиваются жестокие ураганы. Они, конечно, причиняют ему вред, но последствия невозможно даже сравнивать с последствиями того страшного галвестонского урагана.

Не меньшим событием, чем изобретение барометра, оказалось для предсказателей ураганов знаменательное событие, наступившее 4 октября 1957 года — запуск в СССР первого искусственного спутника Земли. Всем было ясно, что одновременное фотографирование значительных участков облачного покрытия земной поверхности с большой высоты дает возможность «выследить» начало урагана, предсказать вероятное его движение и эволюцию. И первые же специальные метеорологические спутники Земли — советский «Космос-122» и американский «Тайрос-1» доказали правильность возлагавшихся на спутники надежд.

«Космос-122» был еще более, чем «Тайрос», «изоцрен» — с его помощью можно было получать фотографии облачности не только днем, но и ночью. На нем была установлена аппаратура для фотографирования в инфракрасных лучах. И еще — на «Космосе-122» была установлена аппаратура, позволяющая судить о радиационной температуре облаков.

Комплексное исследование метеорологической ин-

формации, поступающей одновременно от советских спутников системы «Метеор», позволяет довольно четко выявить структуру ураганов и тайфунов.

Своевременное предсказание пути ураганов позволило бы сохранить многие жизни. Ведь еще совсем недавно, в 1970 году, мир стал свидетелем страшной катастрофы на побережье Восточного Пакистана, в которой погибло, по сообщениям некоторых газет, до полумиллиона человек, а в разной степени пострадало до 10 миллионов человек.

Предсказание наиболее достоверных путей ураганов позволило бы также строить сооружения в тех местах, где они были бы в наиболее безопасном месте. Это позволило бы спасти большие материальные ценности. Метеоспутники уже предупредили Землю о возникновении и движении циклонов «Алиса», «Кора», «Нора» и др. Жители побережий, куда приближались грозные ураганы, были заранее предупреждены. Внезапное нападение стихии не состоялось. По подсчетам американских исследователей, своевременное предсказание ураганов уже сейчас позволило спасти более 50 000 человеческих жизней и громадные материальные ценности.

И, наконец, нет сомнения в том, что наука найдет способы обуздывать ураганы.

Маленькие и не очень маленькие спутники Земли типа «Космос», «Метеор», «Эсса», «Нимбус», грандиозные советские и американские космические лаборатории пристально вглядываются в изменяющуюся структуру облаков. Виток за витком они прослеживают изменения в форме облачности, обнаруживают опасные признаки, зарождение «зерна» нового урагана. Пройдет немного лет, и в опасную область будут направлены людьми самолеты и ракеты. Они будут химически или механически воздействовать на атмосферные вихри и, возможно, обуздают их. Теоретические прикидки советских ученых свидетельствуют о том, что при некоторых условиях можно изменить характер развития ураганов и их траектории. Смертоносные вихри будут направлены в нужном направлении, и — как знать? — не удастся ли в конце концов полезно использовать грандиозную мощность урагана, забирая его энергию? Расчеты показывают, что энергия



«приличного» урагана такова, что Братская ГЭС вырабатывает ее лишь через 30 000 лет.

Опыты по обузданию ураганов уже начались. И уже сейчас анализ возможных путей ураганов позволяет выявить правильную стратегию строительства прибрежных сооружений, позволяет избежать их разрушения, повысить их надежность, исключить ее зависимость от грозных «случайных» факторов.

В высшей степени опасны для людей и созданных ими сооружений смерчи. Там, где воронка смерча касается земли, происходит нечто невообразимое. Смерч способен поднять в воздух и перенести на другое место большие дома или железнодорожные мосты. Ирвингский смерч в США аккуратно скрутил и утопил железнодорожный мост длиной 75 метров, затем перенес церковь вместе с прихожанами на 4 метра по воздуху, а потом еще на два метра по земле. Московский смерч 1904 года уничтожил рощу вековых деревьев в Лефортово и уложил деревья в Сокольниках на ширине 400 шагов.

Чемпион по количеству смерчей — США. Там они называются «торнадо». В одном 1967 году было зарегистрировано 837 грозных вихрей, которые унесли с собой 117 жизней и причинили разрушения, исчислявшиеся миллионами долларов. Большинство смерчей бесчинствовало между Скалистыми горами и Аппалачской грядой — на территории, прозванной метеорологами «аллеей торнадо».

Уничтожение урожаев и жилищ, смерть и увечья несет человеку обезумевшая стихия. Пока что лучшая защита от ураганов и смерчей — раннее предупреждение, дающее возможность населению вовремя укрыться от опасности в надежном месте. С этой целью принимается ряд мер. Например, американские инженеры для предупреждения мореплавателей об опасности построили плавающий робот «Кочевник-1». Это плот с четырьмя герметическими алюминиевыми контейнерами, заполненными метеорологическим оборудованием и находящимися под водой. Регулярно через каждые 6 часов, а при сильном ветре — через каждый час «Кочевник-1» передает метеорологические сведения о состоянии погоды в месте нахождения плота. В сводках погоды отмечаются температура воздуха и воды, барометрическое давление, скорость и направление вет-

ра и течений на поверхности океана. Данные передаются в центр наблюдения за погодой коротковолновой радиостанцией.

Конечно, управление стихией, обуздание ее — дело не такого близкого будущего. Человек не владеет еще энергией, сравнимой с энергией ураганов, смерчей и других грозных природных явлений. Но первые попытки уже сделаны. Уже есть методы, позволяющие надежно и «с гарантией» вызвать дождь или снег, рассеять туман или предотвратить град.

Американские ученые разрабатывают способы предотвращения гроз. Для этого они предлагают «засеивать» грозовые облака металлическими нитями. Советские ученые для этой же цели используют ракетный обстрел облаков специальными порошками. Первые эксперименты показали, что ученые на верном пути.

Противоградовые подразделения у нас уже стали привычными. Только в Средней Азии более 600 000 гектаров плантаций взято ими под защиту. В Грузии разработан другой метод борьбы с этим бедствием. Сначала облака обстреливают поваренной солью, чтобы не дать образоваться граду. Но если все же этот процесс начался, то тучу обстреливают снарядами и ракетами, начиненными специальными реагентами.

Разрабатываются способы воздействия на тропические циклоны. Многие специалисты полагают, что мощные направленные взрывы на пути циклона, если и не разрушат его, то во всяком случае ослабят его разрушительную силу. Американский ученый доктор Вернер Россоу предложил другой метод укрощения торнадо. Он предлагает заземлять возникающие в грозовых облаках электрические поля трехкилометровым кабелем, который следует запускать при помощи ракеты. Опускаться кабель должен на парашюте и сворачиваться на земле спиралью.

По-видимому, и циклоны, и торнадо будут в конце концов укрощены, так же как и ранее казавшиеся непобедимыми сели.

Слово «сель» еще совсем недавно приводило в ужас жителей горных районов Австрии, Италии, Франции, Северной и Южной Америки, Средней Азии.

Когда в горах идут сильные дожди или происходит интенсивное таяние снегов, на вершинах гор скапли-

вается вода. То же самое происходит, когда на ледниках образуются так называемые морены, участки, где лед растаял и образовал ледниковое озеро. Когда воды скопится достаточно много, она низвергается с гор, неся с собой камни, грязь, песок, щебень, которые захватываются со склонов. Этот грязевой или грязекаменный поток движется по склону горы со скоростью 15—20 километров в час, и горе тому, кто окажется на пути селя.

В августе 1910 года в азербайджанском селении Баш-Гейнюк погибло 400 человек, уничтожено 130 домов и огромное количество скота.

4 мая 1927 года от села Вуадель до города Ферганы сель снес 189 строений, погубил 800 голов скота и 1000 гектаров посевов.

25 мая 1946 года сель в районе Еревана уничтожил 1410 домов.

15 июля 1959 года в долине реки Прут разрушено 235 мостов, 365 километров железнодорожных и шоссе-ских дорог.

Особенно опасным в этом смысле районом в нашей стране издавна считались окрестности Алма-Аты. Ледники, чуть ли не нависшие над городом, жаркое, засушливое лето, в течение которого происходило быстрое таяние ледников и образование морен, богатые каменные россыпи на склонах гор, ущелья, являющиеся естественным путем для селей,— все это приводило к тому, что огромный город постоянно жил под угрозой страшной опасности. Над предложениями о противоселевой защите Алма-Аты работали многие группы исследователей. После тщательного обсуждения предложений на заседании Президиума Академии наук СССР был принят проект, разработанный под руководством академика М. А. Лаврентьева. Суть его сводилась к тому, чтобы при помощи направленного взрыва создать в ущелье Медео насыпную плотину.

21 октября 1966 года 5200 тонн взрывчатых веществ подняли в небо и сбросили в точно назначенные места 2,5 миллиона кубометров гранита. За один миг была сооружена плотина длиной 120 метров и шириной у основания 400 метров. По всем расчетам для селя была создана надежная преграда. И эти расчеты оправдались.

Плотина держала экзамен летом 1973 года. В эти

жаркие дни из ледниковых морей на Алма-Ату двинулся сель, по мощности вдвое превосходивший знаменитый сель 1921 года, когда в город было принесено свыше 3 миллионов тонн камней. И плотина выстояла! Лишь в некоторых местах бульдозеры подняли ее на полтора-два метра. А когда сель схлынул, невредимая плотина стала еще мощнее — сам сель укрепил ее принесенными с собой камнями. Теперь плотине не страшен даже самый мощный селевой поток.

...Да, ученые уже думают об обуздании смерчей, о том, как заставить их не сеять смерть и разрушения, а совершать полезную работу. Нет предела дерзаниям человека, нет предела полету его фантазии и мысли...

\* \* \*

Что виделось вчера как цель  
глазам твоим,  
Сегодня для тебя — оковы;  
Мысль — только пища  
Мыслей новых, а голод  
Их неутолим.

*Эмиль Верхарн*

Многие века продолжалась борьба человека за надежность создаваемых им вещей, с каждым новым шагом познания добивался он новых побед в борьбе со свойствами вещей, с силами стихий. Наука о надежности впитывала в себя все новые и новые притоки знания, она усложнилась, окрепла, позволила человеку почувствовать свою силу в мире стихий.

Человек без страха поселяется в горах, подверженных землетрясениям, строит дома на любимых ураганами тропках... Он не боится страшных сил природы, ибо успешно изучает ее, знает, чего от нее можно ожидать и как на нее можно воздействовать. Человек не страшится и созданных им вещей — они послушно служат ему и не могут вырваться из рамок, в которые заключены человеческой мыслью.

Единоборство человека с природой столь же вечно, как и его единение с ней. Каждым своим новым достижением человек бросает вызов стихиям и всегда побеждает.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

Предисловие . . . . .	5
	ТЕТРАДЬ 1.
Долгий путь познания . . . . .	9
	ТЕТРАДЬ 2.
Жестокие, но полезные уроки . . . . .	35
	ТЕТРАДЬ 3.
На подступах к новой науке . . . . .	71
	ТЕТРАДЬ 4.
Катастроф не будет . . . . .	107
	ТЕТРАДЬ 5.
Стихиям не подвластен . . . . .	147

**Карцев В. П. и Хазановский П. М.**

**К29 Стихиям не подвластен. М., «Знание»,  
1975.**

176 с. + 16 с. илл. (Жизнь замечательных идей).

Авторы на многочисленных примерах из истории науки и техники рассказывают о становлении теории надежности. От средневековой игры в кости через теорию вероятностей к обеспечению безаварийной работы современной машины — вот путь развития теории надежности, гарантирующей человека от всевозможных аварий и катастроф.

К  $\frac{20204-079}{073(02) - 75}$  — 166—75

603

**Карцев Владимир Петрович**  
**Хазановский Петр Михайлович**

## **СТИХИЯМ НЕ ПОДВЛАСТЕН**

**Редактор С. Столпник**  
**Худож. редактор Т. Добровольнова**  
**Техн. редактор Ф. Ривилис**  
**Корректор В. Гуляева**

А 10761. Индекс заказа 57729. Сдано в набор 3/II-75 г.  
Подписано к печати 7/VIII-75 г. Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>.  
Бумага типографская № 1. Бум. л. 2,75+0,25 н. л. вкл.  
Печ. л. 5,5+0,5 п. л. вкл. Усл. печ. л. 9,24+0,84 вкл.  
Уч.-изд. л. 8,44+0,61 вкл. Тираж 100 000 экз. Изда-  
тельство «Знание», 101835. Москва, Центр, проезд  
Серова, д. 4. Заказ 5—471. Цена 34 коп.

Головное предприятие республиканского производст-  
венного объединения «Полиграфкнига», Госкомиздата  
УССР, Киев, Довженко, 3.

**В серии ЖЗИ  
в 1975 году  
выходят следующие книги**

**А. Ливанова. Три судьбы.** Издание 3-е, переработанное и дополненное. 10,0. М., «Знание», 1975.

В книге прослеживается история одного из величайших открытий мировой науки — неевклидовой геометрии.

**Р. Гутер, Ю. Полунов. От абака до компьютера.** 10,0. М., «Знание», 1975.

Авторы рассказывают об истории и сегодняшнем состоянии вычислительной техники.

**И. Дзюбин. Путешествие в страну лилипутов.** 8,0. М., «Знание», 1975.

Книга посвящена истории создания полупроводников и радиоэлектроники.

**М. Яновская. Тайны, догадки, прозрения (Из истории нейрофизиологии).** 8,0. М., «Знание», 1975.



## **ДОРОГОЙ ЧИТАТЕЛЬ!**

Просим Вас отзыв об этой книге и свои пожелания присылать в издательство «Знание».

**Н а ш а д р е с: Москва, 101835, проезд Серова, 3/4.**



